Manuales Romo

Zeni y Perdoni

Manual

de

Hidráulica Aplicada

Adrian Romo

Madrid

51
5

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

R. 1856

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

MANUAL

DE

HIDRÁULICA APLICADA

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

MANUALES ROMO

	Ptas.
Astolfoni.—*Pila eléctrica*	3.50
Bertolio.—*Manual del minero* (2.ª edición)	6.—
Colombo.—*Manual del ingeniero* (4.ª edición)	8.—
Escriña.—*Cablas para el trazado de curvas*	6.—
Gaisberg.—*Manual del montador electricista* (2.ª edición).	5.—
Gallo y Maturana.—*Constitución y funcionamiento del automóvil á esencia* (2.ª edición)	5.—
Ghersi.—*Galvanoplastia* (2.ª edición)	5.—
— *Recetario industrial* (2.ª edición)	8.—
Godos.—*Manual del fabricante de chocolate, pastas y galletas*	4.—
Goffi.—*Manual del ingeniero mecánico y del proyectista industrial* (2.ª edición)	8.—
Ihering.—*Tecnología mecánica*	5.—
Malavasi.—*Vademecum del ingeniero constructor mecánico*	10.—
Maneuvrier.—*Tratado elemental de mecánica*	6.—
Marro.—*Manual del ingeniero electricista*	10.—
— *Corrientes alternas, simples, bifásicas y trifásicas*	10.—
Macdonald.—*Dry farming (Cultivo de secano)*	4.—
Mecklenburg.—*Fundamentos experimetales de la atomística*	3.50
Moran.—*Tratado de Fototipia*	1.50
Murani.—*Ondas hertzianas y telégrafo sin hilos*	7.—
Piazzoli.—*Instalaciones de alumbrado eléctrico, 2 vols.* (2.ª edición)	15.—
Ramays (W).—*Química moderna*	7.—
Riera.—*Acumuladores eléctricos*	3.—
Rocafull.—*Tratado de fotografía industrial*	2.—
Ronchetti.—*Manual para los aficionados á la pintura*	8.—
Rossi.—*Manual del licorista*	6.—
Sandrinelli.—*Manual de resistencia de materiales y estabilidad de las construcciones*	8.—
Spataro.—*Manual del saneamiento de poblaciones*	7.—
Thompson.—*Electricidad y materia*	3.50
Vacchelli.—*Construcciones de hormigón y de cemento armado* (2.ª edición)	6.—
Viada.—*Manual de sport*	8.—
Wetham.—*Electricidad experimental*	7.—
Perdoni.—*Hidráulica aplicada* (2.ª edición)	10.—

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Manuales Romo

MANUAL

DE

HIDRÁULICA APLICADA

POR LOS INGENIEROS

Zeni y Perdoni.

TRADUCIDO DE LA ULTIMA EDICION ITALIANA

POR

D. Antonio Alvarez y Redondo,

Ingeniero de Caminos y Arquitecto.

Segunda edición, notablemente corregida y aumentada.

FUNDACION JUANELO TURRIANO
BIBLIOTECA
R. 1856

MADRID

A. ROMO, Editor

5, ALCALA, 5

1914

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Es propiedad del Editor.

Madrid.—Ímp. de Antonio G. Izquierdo, Doctor Mata, 3.—Tel. 1.612.

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Parte primera

§ I.—**Tablas, fórmulas y datos de uso frecuente.**

1. *Aceleración debida á la gravedad.*—En los cálculos de hidráulica hay que tener muchas veces en cuenta el valor exacto de g, y otras, en la práctica, para medir el tiempo, hay que recurrir al péndulo de segundos.

La aceleración g, debida á la gravedad, para un lugar cualquiera, á la latitud l y á una altura c sobre el nivel del mar, expresada en metros, se deduce de la expresión:

$$g = 9{,}8051\,(1 - 0{,}00284\cos 2\,l)\left(1 - \frac{1{,}25\,c}{r}\right)'$$

r = radio del esferoide terrestre al nivel del mar.

$$r = 6366407\,(1 + 0{,}00164\cos 2\,l).$$

2. *Péndulo.*—Llamando t la duración de una oscilación en segundos, l la longitud del péndulo y n el número de oscilaciones en el tiempo T, se tiene:

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \qquad n = \frac{T}{\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}.$$

3. *Tabla I.*—Valores usuales en los cálculos referentes á trabajos hidráulicos:

DENOMINACIÓN	VALOR	LOGARITMO
Radio del Ecuador terrestre a	6377398 m,075	6,8046437
Semieje del esferoide terrestre b	6356079 m,88	6,8031893
$\frac{a}{b} = \frac{6377398{,}075}{6356079{,}88}$	1003354	0,0014543

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

DENOMINACIÓN	VALOR	LOGARITMO
Longitud de un grado del Ecuador	1113 6 m,594	5,0465209
Idem íd. del meridiano medio.	111120 m,64	5,0457947
Aplastamiento de la tierra $\frac{1}{299,152818}$	0,0033428	0,5241069-3
Gravedad en el Ecuador	9 m,78062	0,9903664
Idem á 45º	9,80604	0,9914947
Idem en el Polo	9 m,83146	0,9926180
Longitud del péndulo de 1'' en el Ecuador	0 m,990984	0,9960667-1
Idem íd. á 45º	0 m. 993560	0,9983182-1
Idem íd. en el Polo	0 m,996135	0,9983182-1
Gravedad en París	9 m,890	0,9916247
Idem en Madrid	9 m 830156 ± 0 m,000016	
Idem en Tolosa	9 m,8032	0,9913679
Idem en Palermo	9 m,7997	0,9912128
Idem en Roma	9 m,8030	0,9913590
Idem en Milán	9 m,8060	0,9914919
Idem en Londres	9 m,8110	0,9917133
π	3.14159265359	0,4971499
$\frac{1}{\pi}$	0,318309886	0,5028501-1
π^2	9,8696044	0,9942997
$\sqrt{\pi}$	1,7724539	0,2485749
$\sqrt[3]{\frac{\pi}{6}}$	0,8059959	0,9063329-1
e	2,713281828	0,4342945
Módulo de los logaritmos vulgares	0,43429448	0,6377843-1
Número de segundos de un día	86400	4,9365137
Idem íd. de una hora	3600	3,5563025
Idem íd. de un año	31536000	7,4988066

Radio expresado en grados, y otras magnitudes:

R.º = 57º,2957795131
arco 1′ = 0,00029088821
arco 10″ = 0,00004848137
arco 1″ = 0,000004848137
sen 1′ = 0,000290888204563
sen 10″ = 0,000048481368092
sen 1″ = 0,000004848136809

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

4. *Tabla II.*—Tablas de las 5.as potencias y sus recíprocas de los números 1 al 100 y potencias de $e = 2.718...$

(En la 4.ª columna á 1 corresponde $e^{0'1}$, á 2 $e^{0'2}$, etc., ó sea $e^{\frac{N}{10}}$)

N	N^5	$\frac{1}{N^5}$	$e^{\frac{N}{10}}$
1	1	1,0000000000	1,105171
2	32	0,03125	1,221403
3	243	0,0041152270	1,349859
4	1024	0,0009765625	1,491825
5	3125	0,00032	1,648721
6	7776	2,0001286009	1.822119
7	16807	0,0000594990	2,013752
8	32768	0,0000305175	2,255541
9	59049	0.0000169351	2,459603
10	100000	0,0000100000	2,718282
11	161051	0,0000062692	3,004166
12	248832	0,0000040187	3,320117
13	371293	0,0000026313	3,669297
14	537824	0,0000018593	4,055200
15	759375	0,0000013168	4,481688
16	1048576	0,0000009536	4,953034
17	1419857	0,0000007042	5,473948
18	1889568	0,0000005292	6,049649
19	2476099	0,00000 3750	6,685893
20	3200000	0,0000003125	7,389056
21	4084101	0,0000002448	8,166170
22	5153632	0,0000001940	9.025014
23	6436343	0,0000001553	9,974185
24	7962624	0,0000001225	11,02318
25	9765625	0,0000001024	12,18249
26	11881376	0,0000000841 65	13,46374
27	14348907	0,0000000696 91	14,87973
28	17210368	0,0000000581 04	16,44464
29	20511149	0,0000000487 53	18,17414
30	24300000	0,0000000417 52	20,08554
31	28629151	0,0000000349 29	22,19795
32	33554432	0,0000000298 02	24,53252
33	39135393	0,0000000255 52	27,11263
34	45435424	0,0000000220 09	29,96410
35	52521875	0,0000000190 39	33,11545
36	60466176	0,0000000165 38	36,59823
37	69343957	0,0000000144 21	40,44731
38	79235168	0 0000000125 21	44,70118
39	90224199	0,0000000110 83	49,40246
40	102400000	0,0000000097 65	54,59815
41	115856201	0,0000000086 31	60,34030
42	130691232	0,0000000076 52	66,68631
43	147008443	0,0000000068 02	73,69980
44	164916224	0,0000000060 64	81,45088
45	184528125	0.0000000054 19	90,01714
46	205962976	0,0000000048 55	99,48432
47	229345007	0,0000000043 60	109,9472

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N	N^5	$\frac{1}{N^5}$	$e^{\frac{N}{10}}$
48	254803968	0,000000003925	121,5104
49	282475249	0,000000003540	134,2899
50	312500000	0,000000003200	148,4131
51	345025251	0,000000002898	164,0219
52	380204032	0,000000002630	181,2722
53	418195493	0,000000002391	200,3371
54	459165024	0,000000002163	221,4064
55	503284375	0,000000001987	244,6919
56	550731776	0,000000001816	270,4264
57	601692057	0,000000001662	298,8674
58	656356768	0,000000001524	330,2995
59	714924299	0,000000001399	365,0374
60	777600000	0,000000001286	403,4288
61	844596301	0,000000001184	445,8577
62	916132832	0,000000001092	492,7491
63	992436543	0,000000001008	544,5719
64	1073741824	0,000000000931	601,8451
65	1160290625	0,000000000861	665,1415
66	1252332576	0,000000000899	735,0952
67	1350125107	0,000000000741	812,4059
68	1453933568	0,000000000688	897,8474
69	1564031349	0,000000000639	992,2747
70	1680700000	0,000000000595	1096.633
71	1804229351	0,000000000554	1211.967
72	1934917632	0,000000000517	1339,431
73	2073071593	0,000000000482	1480,300
74	2219006624	0,000000000451	1635,984
75	2373046875	0,000000000421	1808,043
76	2535525376	0,000000000394	1998,195
77	2706784157	0,000000000369	2208,347
78	2887174368	0,000000000346	2440,602
79	3077056399	0,000000000325	2697,282
80	3276800000	0,000000000305	2980,958
81	3486784401	0,000000000287	3294,468
82	3797398432	0,000000000270	3640,949
83	3939040643	0,000000000254	4023,872
84	4182119424	0,000000000239	4447,066
85	4437053125	0,000000000225	4675,073
86	4704270176	0,000000000213	5431,659
87	4984209207	0,000000000201	6002,913
88	5277319168	0,000000000189	6634,243
89	5584059449	0,000000000179	7331,973
90	5904900000	0,000000000169	8103,084
91	6240321451	0,000000000160	8955,294
92	6590815232	0,000000000152	9897,127
93	6956883693	0,000000000144	10938,02
94	7339040224	0,000000000136	12088,38
95	7737809375	0,000000000129	13359,73
96	8153726976	0,000000000123	14764,78
97	8587340257	0,000000000116	16317,61
98	9039207968	0,000000000111	18033,74
99	9509900499	0,000000000105	19930,37
100	10000000000	0,000000000100	22026,47

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

5. *Logaritmos hiperbólicos ó naturales.*—Toda raiz x de la ecuación $e^x = n$ se llama logaritmo natural ó neperiano, ó hiperbólico (porque sirve para la cuadratura de la hipérbola equilátera) del número n, y se indica así

$$x = \log.\ \text{hip.}\ n = l.\ n.$$

Relación entre los logaritmos vulgares y los neperianos.

$$\log n = \log e.\ \log \text{hip}\ n = 0{,}4342945\ \log \text{hip}\ n$$
$$\log.\ \text{hip.}\ n = 2{,}3025851\ \log.\ n.$$

6. *Tabla III.*—**Logaritmos hiperbólicos** por décimas de unidad desde 1 á 50.

N.	log. hip.	N.	log. hip.	N.	log. hip.
1,0	0,00000	4,7	1,54756	8,4	2,12823
1,1	0,09531	4,8	1,56862	8,5	2,14007
1,2	0,18232	4,9	1,58924	8,6	2,15176
1,3	0,26236	5,0	1,60944	8,7	2,16332
1,4	0,33647	5,1	1,62924	8,8	2,17475
1,5	0,40547	5,2	1,64865	8,9	2,18605
1,6	0,47000	5,3	1,66770	9,0	2,19722
1,7	0,53063	5,4	1,68539	9,1	2,20827
1,8	0,58779	5,5	1,70474	9,2	2,21920
1,9	0,64710	5,6	1,72276	9,3	2,23001
2,0	0,69315	5,7	1,74046	9,4	2,24071
2,1	0,74194	5,8	1,75785	9,5	2,25129
2,2	0,78846	5,9	1,77495	9,6	2,26176
2,3	0,83291	6,0	1,79175	9,7	2,27213
2,4	0,87547	6,1	1,80828	9,8	2,28238
2,5	0,91629	6,2	1,82454	9,9	2,29254
2,6	0,95551	6,3	1,84054	10,0	2,30259
2,7	0,99325	6,4	1,85629	10,1	2,31254
2,8	1,02962	6,5	1,87180	10,2	2,32239
2,9	1,06471	6,6	1,88706	10,3	2,33214
3,0	1,09861	6,7	1,90210	10,4	2,34181
3,1	1,13140	6,8	1,91691	10,5	2,35138
3,2	1,16315	6,9	1,93152	10,6	2,36085
3,3	1,19392	7,0	1,94591	10,7	2,37024
3,4	1,22378	7,1	1,96009	10,8	2,37955
3,5	1,25276	7,2	1,97408	10,9	2,38876
3,6	1,28003	7,3	1,98787	11,0	2,39790
3,7	1,30833	7,4	2,00158	11,1	2,40695
3,8	1,33500	7,5	2,01490	11,2	2,41591
3,9	1,36098	7,6	2,02815	11,3	2,42480
4,0	1,38629	7,7	2,04122	11,4	2,43361
4,1	1,41099	7,8	2,05412	11,5	2,44235
4,2	1,43508	7,9	2,06686	11,6	2,45100
4,3	1,45861	8,0	2,07944	11,7	2,45959
4,4	1,48160	8,1	2,09196	11,8	2,46810
4,5	1,50408	8,2	2,10413	11,9	2,47654
4,6	1,52606	8,3	2,11626	12,0	2,48491

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.	log. hip.	N.	log. hip.	N.	log. hip.
12,1	2,49321	17.5	2,86220	22.9	3,13114
12,2	2,50144	17 6	2.86790	23.0	3,13549
12 3	2 50960	17,7	2 87357	23,1	3,13983
12,4	2,51770	17 8	2,87920	23,2	3,14415
12,5	2,52573	17,9	2 88480	23,3	3,14845
12,6	2,53370	18,0	2,89037	23.4	3,15274
12,7	2,54159	18,1	2,89591	23,5	3,15700
12 8	2,54945	18 2	2 90142	23,6	3,16125
12.9	2.55723	18,3	2 90690	23,7	3,16548
13,0	2 56495	18.4	2,91235	23,8	3,16969
13,1	2 57261	18,5	2,91777	23,9	3,17388
13 2	2,58022	18,6	2,92316	24,0	3,17805
13.3	2,58776	18,7	2,92852	24,1	3,18221
13,4	2,59526	18.8	2,93386	24,2	3,18631
13,5	2.60269	18.9	2,93926	24,3	3,19048
13 6	2,61007	19.0	2,94444	24,4	3,19458
13.7	2,61740	19,1	2,94969	24,5	3,19867
13.8	2.62467	19,2	2,95491	24.6	3,20275
13.9	2,63189	19,3	2,96011	24,7	3,20680
14,0	2,63906	19,4	2,96527	24,8	3,21084
14,1	2 64618	19,5	2.97041	24.9	3,21487
14,2	2,65324	19.6	2,97553	25.0	3,21888
14,3	2,66026	19 7	2,98062	25,1	3,22287
14,4	2,66723	19,8	2,98568	25,2	3,22684
14 5	2,67415	19,9	2,99071	25,3	3,23080
14,6	2,68102	20.0	2,99573	25,4	3,23475
14.7	2,68785	20,1	3,00072	25,5	3,23868
14,8	2,69463	20,2	3,00568	25,6	3,24259
14,9	2,70136	20.3	3,01062	25,7	3,24649
15,0	2.70815	20,4	3,01553	25,8	3,25038
15.1	2.71470	20,5	3.02042	25,9	3,25424
15,2	2.72130	20,6	3.02529	26,0	3,25810
15,3	2.72785	20.7	3,03013	26,1	3,26194
15.4	2 73437	20,8	3,03495	26,2	3,26576
15,5	2,74084	20,9	3,03975	26,3	3,26957
15,6	2,74727	21,0	3,04452	26,4	3,27336
15,7	2,75368	21 1	3,04927	26,5	3,27714
15,8	2,76001	21,2	3,05400	26,6	3,28091
15,9	2.76632	21,3	3,05871	26,7	3.28466
16,0	2.77259	21,4	3,06339	26,8	3,28830
16,1	2,77882	21,5	3,06805	26.9	3,29213
16,2	2,78501	21,6	3,07269	27,0	3,29584
16,3	2,79117	21,7	3,07731	27,1	3,29953
16,4	2,79728	21.8	3 08191	27,2	3,30322
16 5	2,80336	21,9	3,08649	27,3	3,30689
16.6	2,80930	22,0	3,09104	27.4	3,31054
16,7	2,81541	22.1	3,09558	27,5	3,31419
16,8	2,82138	22,2	3,10009	27.6	3.31782
16,9	2,82731	22,3	3,10459	27,7	3,32143
17,0	2,83321	22,4	3.10906	27,8	3,32504
17,1	2.83908	22.5	3,11351	27,9	3,32863
17,2	2 84491	22,6	3,11795	28,0	3,32977
17,3	2,85071	22,7	3,12237	28.1	3,33211
17,4	2,85647	22,8	3,12676	28,2	3,33932

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.	log. hip.	N.	log. hip.	N.	log. hip.
28,3	3,34286	33,7	3,51750	39,1	3,66612
28,4	3,34639	33,8	3,52046	39,2	3,66868
28,5	3,34990	33,9	3,52342	39,3	3,67122
28,6	3,35341	34,0	3,52636	39,4	3,67377
28,7	3,35690	34,1	3,52930	39,5	3,67630
28,8	3,36038	34,2	3,53223	39,6	3,67883
28,9	3,36384	34,3	3,53515	39,7	3,68135
29,0	3,36730	34,4	3,53806	39,8	3,68387
29,1	3,37074	34,5	3,54096	39,9	3,68638
29,2	3,37417	34,6	3,54385	40,0	3,68888
29,3	3,37759	34,7	3,54674	40,1	3,69138
29,4	3,38010	34,8	3,54962	40,2	3,69387
29,5	3,38440	34,9	3,55249	40,3	3,69635
29,6	3,38777	35,0	3,55535	40,4	3,69883
29,7	3,39115	35,1	3,55810	40,5	3,70130
29,8	3,39451	35,2	3,56105	40,6	3,70377
29,9	3,39786	35,3	3,56389	40,7	3,70623
30,0	3,40120	35,4	3,56671	40,8	3,70868
30,1	3,40453	35,5	3,56953	40,9	3,71113
30,2	3,40784	35,6	3,57235	41,0	3,71357
30,3	3,41115	35,7	3,57515	41,1	3,71601
30,4	3,41434	35,8	3,57795	41,2	3,71844
30,5	3,41773	35,9	3,58074	41,3	3,72086
30,6	3,42100	36,0	3,58352	41,4	3,72328
30,7	3,42426	36,1	3,58630	41,5	3,72569
30,8	3,42752	36,2	3,58906	41,6	3,72810
30,9	3,43076	36,3	3,59182	41,7	3,73050
31,0	3,43399	36,4	3,59457	41,8	3,73290
31,1	3,43721	36,5	3,59731	41,9	3,73529
31,2	3,44042	36,6	3,60005	42,0	3,73767
31,3	3,44362	36,7	3,60278	42,1	3,74005
31,4	3,44681	36,8	3,60550	42,2	3,74242
31,5	3,44999	36,9	3,60821	42,3	3,74489
31,6	3,45316	37,0	3,61092	42,4	3,74715
31,7	3,45632	37,1	3,61362	42,5	3,74950
31,8	3,45947	37,2	3,61631	42,6	3,75185
31,9	3,46261	37,3	3,61900	42,7	3,75420
32,0	3,46574	37,4	3,62167	42,8	3,75654
32,1	3,46886	37,5	3,62334	42,9	3,75887
32,2	3,47197	37,6	3,62700	43,0	3,76120
32,3	3,47507	37,7	3,62966	43,1	3,76352
32,4	3,47816	37,8	3,63231	43,2	3,76584
32,5	3,48124	37,9	3,63495	43,3	3,76815
32,6	3,48431	38,0	3,63759	43,4	3,77046
32,7	3,48738	38,1	3,64021	43,5	3,77276
32,8	3,49043	38,2	3,64284	43,6	3,77506
32,9	3,49347	38,3	3,64545	43,7	3,77735
33,0	3,49651	38,4	3,64806	43,8	3,77993
33,1	3,49953	38,5	3,65066	43,9	3,78191
33,2	3,50255	38,6	3,65325	44,0	3,78419
33,3	3,50556	38,7	3,65584	44,1	3,78646
33,4	3,50856	38,8	3,65842	44,2	3,78873
33,5	3,51155	38,9	3,66099	44,3	3,79099
33,6	3,51453	39,0	3,66356	44,4	3,79324

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.	log. hip.	N.	log. hip.	N.	log. hip.
44,5	3,79549	46,8	3,84588	49,1	3 89386
44,6	3.79773	46,9	3.84802	49,2	3,89590
44,7	3,79997	47,0	3.85015	49 3	3.89792
44,8	3.80211	47,1	3.85127	49,4	3,89995
44,9	3.80444	47,2	5,85439	49,5	3,90197
45,0	3.80666	47,3	3,85651	49.6	3,90399
45,1	3.80888	47.4	3,85862	49.7	3.90601
45,2	3,81110	47,5	3.86073	49,8	3,90801
45,3	3,81331	47,6	3,86283	49.9	3,91002
45,4	3.81551	47,7	3,86493	50,0	3,91202
45,5	3,81991	47,8	3.86703	60,0	4,09434456
45,6	3,82039	47,9	3,86912	70,0	4,24849524
45,7	3,82250	48,0	3 87120	80,0	4,38202663
45,8	3 82428	48,1	3,87328	90,0	4,49980967
45,9	3.82647	48,2	3 87536	100,0	4,60517019
46,0	3,82864	48,3	3,87743	200.0	5,29831737
46,1	3,83081	48,4	3,87950	300,0	5,70378247
46,2	3,83300	48,5	3.88166	400,0	5,99146455
46,3	3,83514	48,6	4,88362	500.0	6,21460810
46,4	3,83730	48,7	3,88568	1000	6,90775528
46,5	3,83945	48,8	3,88773	10000	9.21034037
46,6	3,84160	48,9	3,88978	100000	11,51292547
46,7	3 84374	49,0	3,89182	1000000	13,81551056

7. *Principales fórmulas trigonométricas.*

$$\operatorname{sen}(\alpha \pm \beta) = \operatorname{sen}\alpha \cos\beta \pm \cos\alpha \operatorname{sen}\beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha \cos\beta \pm \operatorname{sen}\alpha \operatorname{sen}\beta$$

$$\operatorname{tang}(\alpha \pm \beta) \frac{\operatorname{tang}\alpha \pm \operatorname{tang}\beta}{1 \mp \operatorname{tang}\alpha \operatorname{tang}\beta}$$

$$\operatorname{cotg}(\alpha \pm \beta = \frac{\cot\alpha \operatorname{cotg}\beta \mp 1}{\operatorname{cotg}\beta \mp \operatorname{cotg}\alpha}$$

$$\operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{2}}; \quad \cos\frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{2}}$$

$$\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2} = \frac{\operatorname{sen}\alpha}{1+\cos\alpha}; \quad \cot\frac{\alpha}{2} = \frac{\operatorname{sen}\alpha}{1-\cos\alpha}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Arcos múltiples; cuando n es impar,

$$\operatorname{sen} 3\alpha = 3 \operatorname{sen} \alpha - 4 \operatorname{sen}^3 \alpha$$

$$\operatorname{sen} n\alpha = n \operatorname{sen} \alpha - \frac{n - (n^2 - 1)}{2.3} \operatorname{sen}^3 \alpha + \frac{n\,(n^2 - 1)\,(n^2 - 3^2)}{2.3.4\,5} \operatorname{sen}^5 \alpha - \frac{n\,(n^2 - 1)\,(n^2 - 3^2)\,(n^2 - 5^2)}{2.3.4.5.6.7} \operatorname{sen}^7 \alpha + \text{etc., etc.}$$

$$\operatorname{Cos} 3\alpha = \cos \alpha\,(1 - 4 \operatorname{sen}^2 \alpha).$$

$$\operatorname{Cos} n\alpha = \cos \alpha \left(1 - \frac{(n^2 - 1)}{2} \operatorname{sen}^2 \alpha + \frac{(n^2 - 1)\,(n^2 - 3^2)}{2.3.4.} \operatorname{sen}^4 \alpha - \frac{(n^2 - 1)\,(n^2 - 3^2)\,(n^2 - 5^2)}{2.3.4\,5.6} \operatorname{sen}^6 \alpha + \ldots\right)$$

Cuando n es par

$$\operatorname{sen} 2\alpha = 2 \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha;\ \operatorname{sen} 4\alpha = (4 \operatorname{sen} \alpha - 8 \operatorname{sen}^3 \alpha) \cos \alpha$$

$$\operatorname{sen} n\alpha = \left(n \operatorname{sen} \alpha - \frac{n\,(n^2 - 2^2)}{2.3} \operatorname{sen}^3 \alpha + \frac{n\,(n^2 - 2^2)\,(n^2 - 4^2)}{2.3.4.5} \operatorname{sen}^5 \alpha - \frac{n\,(n^2 - 2^2)\,(n^2 - 4^2)\,(n^2 - 6^2)}{2.3.4.5.6.7} \operatorname{sen}^7 \alpha + \ldots\right) \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = 2 \operatorname{sen}^2 \alpha;\ \cos 4\alpha = 1 - 8 \operatorname{sen}^2 \alpha + 8 \operatorname{sen}^4 \alpha$$

$$\cos n\alpha = 1 - \frac{n^2}{2} \operatorname{sen}^2 \alpha + \frac{n^2\,(n^2 - 2^2)}{2.3.4} \operatorname{sen}^4 \alpha - \frac{n^2\,(n^2 - 2^2)\,(n^2 - 4^2)}{2.3.4.5.6} \operatorname{sen}^6 \alpha \ldots$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

8. Tabla de las líneas trigonométricas.

Graduación sexagesimal.

Grados	Seno. 0′	10′	20′	30′	40′	50′	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454	89
1	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199	88
2	0,03490	0,03781	0 04071	0,04653	0,04653	0,04943	87
3	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685	86
4	0,06976	0 07266	0,07556	0,06846	0,08136	0,08426	85
5	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164	84
6	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898	83
7	0,12187	0,12476	0 12764	0,13053	0,13341	0 13629	82
8	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356	81
9	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078	80
10	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795	79
11	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507	78
12	0,20791	0,21076	0 21360	0,21644	0,21928	0,22212	77
13	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910	76
14	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601	75
15	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284	74
16	0,27564	0 27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959	73
17	0,29237	0,29515	0 29793	0,30071	0,30348	0,30626	72
18	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282	71
19	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929	70
20	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565	69
21	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191	68
22	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805	67
23	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40141	0,40408	66
24	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998	65
25	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575	64
26	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0 45140	63
27	0,45399	0,45658	0 45917	0,46175	0,46433	0,46690	62
28	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226	61
29	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0.49748	60
30	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254	59
31	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745	58
32	0,52992	0 53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220	57
33	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0'55678	56
34	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56680	0,57119	55
35	0,57358	0,57596	0,57833	0'58070	0,58307	0,58543	54
36	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949	53
37	0,60182	0,60414	0,60645	0,60876	0,61107	0,61337	52
38	0,61566	0,61795	0,62024	0,62251	0,62479	0,62706	51
39	0,62932	0,63158	0,63383	0,63608	0,63832	0 64056	50
40	0,64279	0,64501	0,64723	0,64945	0,65166	0,65386	49
41	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66680	0,66697	48
42	0,66913	0,67129	0,67344	0,67559	0,67773	0,67987	47
43	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256	46
44	0,69466	0,69675	0,69883	0,70091	0,70298	0,70505	45
45	0,70711						44
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	Grados
	Coseno.						

DIGITALIZACIÓN JUANELO TURRIANO

Grados	Coseno. 0′	10′	20′	30′	40′	50′	
0	1,00000	1,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99989	89
1	0,99985	0,99979	0,99973	0,99966	0,99958	0,99949	88
2	0,99939	0,99929	0,99917	0,99905	0,99892	0,99878	87
3	0,99863	0,99847	0,99831	0,99813	0,99795	0,99776	86
4	0,99756	0,99736	0,99714	0,99692	0,99668	0,99644	85
5	0,99619	0,99594	0,99567	0,99540	0,99511	0,99482	84
6	0,99452	0,99421	0,99390	0,99357	0,99324	0,99290	83
7	0,99255	0,99219	0,99182	0,99144	0,99106	0,99067	82
8	0,99027	0,98986	0,98944	0,98902	0,98858	0,98814	81
9	0,98769	0,98723	0,98676	0,98629	0,98580	0,98531	80
10	0,98481	0,98430	0,98378	0,98325	0,98272	0,98218	79
11	0,98163	0,98107	0,98050	0,97992	0,97934	0,97875	78
12	0,97815	0,97754	0,97692	0,97630	0,97566	0,97502	77
13	0,97437	0,97371	0,97304	0,97237	0,97169	0,97100	76
14	0,97030	0,96959	0,96887	0,96815	0,96742	0,96667	75
15	0,96593	0,96517	0,96440	0,96362	0,96285	0,96206	74
16	0,96126	0,96046	0,95964	0,95882	0,95799	0,95715	73
17	0,95630	0,95545	0,95459	0,95372	0,95284	0,95195	72
18	0,95106	0,95015	0,94924	0,94832	0,94740	0,94646	71
19	0,94552	0,94457	0,94361	0,94264	0,94167	0,94668	70
20	0,93969	0,93869	0,93769	0,93667	0,93565	0,93462	69
21	0,93358	0,93253	0,93148	0,93042	0,92935	0,92827	68
22	0,92718	0,92609	0,92499	0,92388	0,92276	0,92164	67
23	0,92050	0,91936	0,91822	0,91706	0,91590	0,91472	66
24	0,91355	0,91236	0,91116	0,90996	0,90875	0,90753	65
25	0,91631	0,90507	0,90383	0,90259	0,90133	0,90007	64
26	0,89879	0,89752	0,89623	0,89493	0,89363	0,89232	63
27	0,89101	0,88968	0,88835	0,88701	0,88566	0,88431	62
28	0,88295	0,88158	0,88020	0,87882	0,87743	0,87603	61
29	0,87462	0,87321	0,87178	0,87036	0,86892	0,86748	60
30	0,86603	0,86457	0,86310	0,86163	0,86015	0,85866	59
31	0,85717	0,85567	0,85416	0,85264	0,85112	0,84959	58
32	0,84805	0,84650	0,84495	0,84339	0,84182	0,84025	57
33	0,83867	0,83708	0,83549	0,83389	0,83228	0,83066	56
34	0,82904	0,82741	0,82677	0,82413	0,82248	0,82082	55
35	0,81915	0,81748	0,81580	0,81412	0,81242	0,81072	54
36	0,80902	0,80730	0,80558	0,80386	0,80212	0,80038	53
37	0,79864	0,79688	0,79512	0,79335	0,79158	0,78980	52
38	0,78801	0,78622	0,78442	0,78261	0,78079	0,77897	51
39	0,77715	0,77531	0,77347	0,77162	0,76977	0,76791	50
40	0,76604	0,76417	0,76229	0,76041	0,75851	0,75661	49
41	0,75471	0,75280	0,75088	0,74896	0,74703	0,74509	48
42	0,74314	0,74120	0,73924	0,73728	0,73531	0,73333	47
43	0,73135	0,72937	0,62737	0,72537	0,72337	0,72136	46
44	0,71934	0,71732	0,71529	0,71325	0,71121	0,70916	45
45	0,70711						44
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	Grados
	Seno.						

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Grados	Tangente. 0′	10′	20′	30′	40′	50′	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	89
1	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201	88
2	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949	87
3	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700	86
4	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456	85
5	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216	84
6	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983	83
7	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758	82
8	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540	81
9	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333	80
10	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136	79
11	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952	78
12	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781	77
13	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624	76
14	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483	75
15	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360	74
16	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255	73
17	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171	72
18	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108	71
19	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068	70
20	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053	69
21	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065	68
22	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105	67
23	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175	66
24	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277	65
25	0,46331	0,46985	0,47341	0,47698	0,48056	0,48414	64
26	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587	63
27	0,50953	0,51319	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798	62
28	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051	61
29	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348	60
30	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691	59
31	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083	58
32	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64111	0,64528	57
33	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028	56
34	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588	55
35	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211	54
36	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900	53
37	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661	52
38	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498	51
39	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415	50
40	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419	49
41	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515	48
42	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709	47
43	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008	46
44	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420	45
45	1,00000						44
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	Grados
	Cotangente.						

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Gra.	Cotangente.						
	0′	10′	20′	30′	40′	50′	
0	∞	343,77371	171,88540	114,58865	85,93979	68,75009	89
1	57,28996	49,10388	42,96408	38,18846	34,36777	31,24158	88
2	28,63625	26,43160	24,54176	22,90377	21,47040	20,20555	87
3	19,08114	18,07498	17,16934	16,34986	15,60478	14,92442	86
4	14,30067	13,72674	13,19688	12,70621	12,25051	11,82617	85
5	11,43005	11,05943	10,71191	10,38540	10,07803	9,78817	84
6	9,51436	9,25530	9,00983	8,77689	8,55555	8,34496	83
7	8,14435	7,95302	7,77035	7,59575	7,42871	7,26873	82
8	7,11537	6,96823	6,82694	6,69116	6,56055	6,43484	81
9	6,31375	6,19703	6,84044	5,97576	5,87080	5,76937	80
10	5,67128	5,57638	5,48451	5,39552	5,30928	5,22566	79
11	5,14455	4,06584	4,98940	4,91516	4,84300	4,77286	78
12	4,70463	4,63825	4,57363	4,51071	4,44942	4,38969	77
13	4,33148	4,27471	4,21933	4,16530	4,11256	4,06107	76
14	4,01078	3,96165	3,91364	3,86671	3,82083	3,77595	75
15	3,73205	3,68909	3,64705	3,60588	3,56557	3,52609	74
16	3,48741	3,44951	3,41236	3,37594	3,34023	3,30521	73
17	3,27085	3,23714	3,20406	3,17159	3,13972	3,10842	72
18	3,07768	3,04749	3,01783	2,98868	2,96004	2,93189	71
19	2,90421	2,87700	2,85023	2,82391	2,79802	2,77254	70
20	2,74748	2,72281	2,69853	2,67462	2,65109	2,62791	69
21	2,60509	2,58261	2,56046	2,53865	2,51715	2,49597	68
22	2,47509	2,45451	2,43422	2,41421	2,39449	2,37504	67
23	2,35585	2,33693	2,31826	2,29984	2,28167	2,26374	66
24	2,24604	2,22857	2,21132	2,19430	2,17749	2,16090	65
25	2,14451	2,12832	2,11233	2,09654	2,08094	2,06553	64
26	2,05030	2,03526	2,02039	2,00569	1,99116	1,97680	63
27	1,96261	1,94858	1,93470	1,92098	1,90741	1,89400	62
28	1,88073	1,86760	1,85462	1,84177	1,82906	1,81649	61
29	1,80405	1,79174	1,77955	1,76749	1,75556	1,74375	60
30	1,73205	1,72047	1,70901	1,69766	1,68643	1,67530	59
31	1,66428	1,65337	1,62456	1,63185	1,62125	1,61074	58
32	1,60033	1,59002	1,57981	1,56969	1,55966	1,54972	57
33	1,53987	1,53010	1,52043	1,51084	1,50133	1,49190	56
34	1,48256	1,47330	1,46411	1,45501	1,44599	1,43703	55
35	1,42815	1,41934	1,41061	1,40195	1,39336	1,38484	54
36	1,37638	1,36800	1,35968	1,35142	1,34323	1,33511	53
37	1,32704	1,31904	1,31110	1,30323	1,29541	1,28764	52
38	1,27994	1,27230	1,26471	1,25717	1,24969	1,24227	51
39	1,23490	1,22758	1,72031	1,21310	1,20593	1,19882	50
40	1,19175	1,18474	1,17777	1,17085	1,16398	1,15715	49
41	1,15037	1,14363	1,13694	1,13029	1,12369	1,11713	48
42	1,11061	1,10414	1,09770	1,09131	1,08496	1,07864	47
43	1,07237	1,06613	1,05994	1,05378	1,04766	1,04158	46
44	1,03553	1,02952	1,02355	1,01761	1,01170	1,00583	45
45	1,00000						44
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	Grads
	Tangente.						

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla VI *bis.*

Líneas trigonométricas (graduación centesimal).

Grados	Seno											
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	70'	80'	90'	100'	
0	0,0000	0,0016	0,0031	0,0047	0,0063	0,0079	0,0094	0,0110	0,0126	0,0141	0,0157	99
1	0,0157	0,0173	0,0188	0,0204	0,0220	0,0236	0,0251	0,0267	0,0283	0,0298	0,0314	98
2	0,0314	0,0330	0,0346	0,0361	0,0377	0,0393	0,0408	0,0424	0,0440	0,0455	0,0471	97
3	0,0471	0,0487	0,0502	0,0518	0,0534	0,0550	0,0565	0,0581	0,0597	0,0612	0,0628	96
4	0,0628	0,0644	0,0659	0,0675	0,0691	0,0706	0,0722	0,0738	0,0753	0,0769	0,0785	95
5	0,0785	0,0800	0,0816	0,0832	0,0847	0,0863	0,0879	0,0894	0,0910	0,0925	0,0941	94
6	0,0941	0,0957	0,0972	0,0988	0,1004	0,1019	0,1035	0,1050	0,1066	0,1082	0,1097	93
7	0,1097	0,1113	0,1129	0,1144	0,1160	0,1175	0,1191	0,1207	0,1222	0,1238	0,1253	92
8	0,1253	0,1269	0,1284	0,1300	0,1316	0,1331	0,1347	0,1362	0,1378	0,1393	0,1409	91
9	0,1409	0,1425	0,1440	0,1456	0,1471	0,1487	0,1502	0,1518	0,1533	0,1549	0,1564	90
10	0,1564	0,1580	0,1595	0,1611	0,1626	0,1642	0,1657	0,1673	0,1688	0,1704	0,1719	89
11	0,1719	0,1735	0,1750	0,1766	0,1781	0,1797	0,1812	0,1828	0,1843	0,1858	0,1874	88
12	0,1874	0,1889	0,1905	0,1920	0,1935	0,1951	0,1966	0,1982	0,1997	0,2012	0,2028	87
13	0,2028	0,2043	0,2059	0,2074	0,2089	0,2105	0,2120	0,2135	0,2151	0,2166	0,2181	86
14	0,2181	0,2197	0,2212	0,2227	0,2243	0,2258	0,2273	0,2289	0,2304	0,2319	0,2334	85
15	0,2334	0,2350	0,2365	0,2380	0,2396	0,2411	0,2426	0,2441	0,2456	0,2472	0,2487	84
16	0,2487	0,2502	0,2517	0,2533	0,2548	0,2563	0,2578	0,2593	0,2608	0,2624	0,2639	83
17	0,2639	0,2654	0,2669	0,2684	0,2699	0,2714	0,2730	0,2745	0,2760	0,2775	0,2790	82
18	0,2790	0,2805	0,2820	0,2835	0,2850	0,2865	0,2880	0,2895	0,2910	0,2925	0,2940	81
19	0,2940	0,2955	0,2970	0,2985	0,3000	0,3015	0,3030	0,3045	0,3060	0,3075	0,3090	80
20	0,3090	0,3105	0,3120	0,3135	0,3150	0,3165	0,3180	0,3195	0,3209	0,3224	0,3239	79
21	0,3239	0,3254	0,3269	0,3284	0,3299	0,3313	0,3328	0,3343	0,3358	0,3373	0,3387	78
22	0,3387	0,3402	0,3417	0,3432	0,3446	0,3461	0,3476	0,3491	0,3505	0,3520	0,3535	77
23	0,3535	0,3549	0,3564	0,3579	0,3593	0,3608	0,3623	0,3637	0,3652	0,3667	0,3681	76
24	0,3681	0,3696	0,3710	0,3725	0,3740	0,3754	0,3769	0,3783	0,3798	0,3812	0,3827	75
25	0,3827	0,3841	0,3855	0,3870	0,3885	0,3899	0,3914	0,3928	0,3942	0,3957	0,3971	74
26	0,3971	0,3986	0,4000	0,4015	0,4029	0,4043	0,4058	0,4072	0,4086	0,4101	0,4115	73
27	0,4115	0,4129	0,4144	0,4158	0,4172	0,4187	0,4201	0,4215	0,4229	0,4244	0,4258	72
28	0,4258	0,4272	0,4286	0,4300	0,4315	0,4329	0,4343	0,4357	0,4371	0,4385	0,4399	71
29	0,4399	0,4413	0,4428	0,4442	0,4456	0,4470	0,4484	0,4498	0,4512	0,4526	0,4540	70
30	0,4540	0,4554	0,4568	0,4582	0,4596	0,4610	0,4624	0,4638	0,4652	0,4665	0,4679	69
31	0,4679	0,4693	0,4707	0,4721	0,4735	0,4749	0,4762	0,4776	0,4790	0,4804	0,4818	68
32	0,4818	0,4831	0,4845	0,4859	0,4873	0,4886	0,4900	0,4914	0,4927	0,4941	0,4955	67
33	0,4955	0,4968	0,4982	0,4995	0,5009	0,5023	0,5036	0,5050	0,5063	0,5077	0,5090	66
34	0,5090	0,5104	0,5117	0,5131	0,5144	0,5158	0,5171	0,5185	0,5198	0,5212	0,5225	65
35	0,5225	0,5238	0,5252	0,5265	0,5278	0,5292	0,5305	0,5318	0,5332	0,5345	0,5358	64
36	0,5358	0,5372	0,5385	0,5398	0,5411	0,5424	0,5438	0,5451	0,5464	0,5477	0,5490	63
37	0,5490	0,5503	0,5516	0,5530	0,5543	0,5556	0,5569	0,5582	0,5595	0,5608	0,5621	62
38	0,5621	0,5634	0,5647	0,5660	0,5673	0,5686	0,5699	0,5711	0,5724	0,5737	0,5750	61
39	0,5750	0,5763	0,5776	0,5789	0,5801	0,5814	0,5827	0,5840	0,5852	0,5865	0,5878	60
40	0,5878	0,5891	0,5903	0,5916	0,5929	0,5941	0,5954	0,5966	0,5979	0,5992	0,6004	59
41	0,6004	0,6017	0,6029	0,6042	0,6054	0,6067	0,6078	0,6092	0,6104	0,6117	0,6129	58
42	0,6129	0,6141	0,6154	0,6166	0,6179	0,6191	0,6203	0,6216	0,6228	0,6240	0,6252	57
43	0,6252	0,6265	0,6277	0,6289	0,6301	0,6314	0,6326	0,6338	0,6350	0,6362	0,6374	56
44	0,6374	0,6386	0,6398	0,6410	0,6423	0,6435	0,6447	0,6459	0,6471	0,6483	0,6494	55
45	0,6494	0,6506	0,6518	0,6530	0,6542	0,6554	0,6566	0,6578	0,6590	0,6601	0,6613	54
46	0,6613	0,6625	0,6637	0,6648	0,6660	0,6672	0,6684	0,6695	0,6707	0,6718	0,6730	53
47	0,6730	0,6742	0,6753	0,6765	0,6776	0,6788	0,6800	0,6811	0,6823	0,6834	0,6845	52
48	0,6845	0,6857	0,6868	0,6880	0,6891	0,6903	0,6914	0,6925	0,6937	0,6948	0,6959	51
49	0,6959	0,6970	0,6982	0,6993	0,7004	0,7015	0,7026	0,7038	0,7049	0,7060	0,7071	50

Grados	Coseno											
	100'	90'	80'	70'	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Grados

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Grados	Coseno										
	0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	70′	80′	90′	100′	
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	99
1	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9996	0,9996	0,9996	0,9995	98
2	0,9995	0,9995	0,9994	0,9993	0,9993	0,9992	0,9992	0,9991	0,9990	0,9990	0,9989	97
3	0,9989	0,9988	0,9987	0,9987	0,9986	0,9985	0,9984	0,9983	0,9982	0,9981	0,9980	96
4	0,9980	0,9979	0,9978	0,9977	0,9976	0,9975	0,9974	0,9973	0,9972	0,9970	0,9969	95
5	0,9969	0,9968	0,9967	0,9965	0,9964	0,9963	0,9961	0,9960	0,9959	0,9957	0,9956	94
6	0,9956	0,9954	0,9953	0,9951	0,9950	0,9948	0,9946	0,9945	0,9943	0,9941	0,9940	93
7	0,9940	0,9938	0,9936	0,9934	0,9933	0,9931	0,9929	0,9927	0,9925	0,9923	0,9921	92
8	0,9921	0,9919	0,9917	0,9915	0,9913	0,9911	0,9909	0,9907	0,9905	0,9902	0,9900	91
9	0,9900	0,9898	0,9896	0,9893	0,9891	0,9889	0,9887	0,9884	0,9882	0,9879	0,9877	90
10	0,9877	0,9874	0,9872	0,9869	0,9867	0,9864	0,9862	0,9859	0,9856	0,9854	0,9851	89
11	0,9851	0,9848	0,9846	0,9843	0,9840	0,9837	0,9834	0,9832	0,9829	0,9826	0,9823	88
12	0,9823	0,9820	0,9817	0,9814	0,9811	0,9808	0,9805	0,9802	0,9799	0,9795	0,9792	87
13	0,9792	0,9789	0,9786	0,9783	0,9779	0,9776	0,9773	0,9769	0,9766	0,9763	0,9759	86
14	0,9759	0,9756	0,9752	0,9749	0,9745	0,9742	0,9738	0,9735	0,9731	0,9727	0,9724	85
15	0,9724	0,9720	0,9716	0,9713	0,9709	0,9705	0,9701	0,9697	0,9694	0,9690	0,9686	84
16	0,9686	0,9682	0,9678	0,9674	0,9670	0,9666	0,9662	0,9658	0,9654	0,9650	0,9646	83
17	0,9646	0,9641	0,9637	0,9633	0,9629	0,9625	0,9620	0,9616	0,9612	0,9607	0,9603	82
18	0,9603	0,9599	0,9594	0,9590	0,9585	0,9581	0,9576	0,9572	0,9567	0,9563	0,9558	81
19	0,9558	0,9553	0,9549	0,9544	0,9539	0,9535	0,9530	0,9525	0,9520	0,9515	0,9511	80
20	0,9511	0,9506	0,9501	0,9496	0,9491	0,9486	0,9481	0,9476	0,9471	0,9466	0,9461	79
21	0,9461	0,9456	0,9451	0,9445	0,9440	0,9435	0,9430	0,9425	0,9419	0,9414	0,9409	78
22	0,9409	0,9403	0,9398	0,9392	0,9387	0,9382	0,9376	0,9371	0,9365	0,9360	0,9354	77
23	0,9354	0,9349	0,9343	0,9338	0,9332	0,9326	0,9321	0,9315	0,9309	0,9304	0,9298	76
24	0,9298	0,9292	0,9286	0,9280	0,9274	0,9269	0,9263	0,9257	0,9251	0,9245	0,9239	75
25	0,9239	0,9233	0,9227	0,9221	0,9215	0,9208	0,9202	0,9196	0,9190	0,9184	0,9178	74
26	0,9178	0,9171	0,9165	0,9159	0,9152	0,9146	0,9140	0,9133	0,9127	0,9120	0,9114	73
27	0,9114	0,9108	0,9101	0,9095	0,9088	0,9081	0,9075	0,9068	0,9062	0,9055	0,9048	72
28	0,9048	0,9042	0,9035	0,9028	0,9021	0,9015	0,9008	0,9001	0,8994	0,8987	0,8980	71
29	0,8980	0,8973	0,8966	0,8959	0,8952	0,8945	0,8938	0,8931	0,8924	0,8917	0,8910	70
30	0,8910	0,8903	0,8896	0,8889	0,8881	0,8874	0,8867	0,8860	0,8852	0,8845	0,8838	69
31	0,8838	0,8830	0,8823	0,8816	0,8808	0,8801	0,8793	0,8786	0,8778	0,8771	0,8763	68
32	0,8763	0,8755	0,8748	0,8740	0,8733	0,8725	0,8717	0,8710	0,8702	0,8694	0,8686	67
33	0,8686	0,8679	0,8671	0,8663	0,8655	0,8647	0,8639	0,8631	0,8623	0,8615	0,8607	66
34	0,8607	0,8599	0,8591	0,8583	0,8575	0,8567	0,8559	0,8551	0,8543	0,8535	0,8526	65
35	0,8526	0,8518	0,8510	0,8502	0,8493	0,8485	0,8477	0,8468	0,8460	0,8452	0,8443	64
36	0,8443	0,8435	0,8426	0,8418	0,8409	0,8401	0,8392	0,8384	0,8375	0,8367	0,8358	63
37	0,8358	0,8349	0,8341	0,8332	0,8323	0,8315	0,8306	0,8297	0,8288	0,8280	0,8271	62
38	0,8271	0,8262	0,8253	0,8244	0,8235	0,8226	0,8217	0,8209	0,8200	0,8191	0,8181	61
39	0,8181	0,8172	0,8163	0,8154	0,8145	0,8136	0,8127	0,8118	0,8109	0,8099	0,8090	60
40	0,8090	0,8081	0,8072	0,8062	0,8053	0,8044	0,8034	0,8025	0,8016	0,8006	0,7997	59
41	0,7997	0,7987	0,7978	0,7968	0,7959	0,7949	0,7940	0,7930	0,7921	0,7911	0,7902	58
42	0,7902	0,7892	0,7882	0,7873	0,7863	0,7853	0,7843	0,7834	0,7824	0,7814	0,7804	57
43	0,7804	0,7794	0,7785	0,7775	0,7765	0,7755	0,7745	0,7735	0,7725	0,7715	0,7705	56
44	0,7705	0,7695	0,7685	0,7675	0,7665	0,7655	0,7645	0,7635	0,7624	0,7614	0,7604	55
45	0,7604	0,7594	0,7584	0,7573	0,7563	0,7553	0,7543	0,7532	0,7522	0,7511	0,7501	54
46	0,7501	0,7491	0,7480	0,7470	0,7459	0,7449	0,7438	0,7428	0,7417	0,7407	0,7396	53
47	0,7396	0,7386	0,7375	0,7365	0,7354	0,7343	0,7333	0,7322	0,7311	0,7300	0,7290	52
48	0,7290	0,7279	0,7268	0,7257	0,7247	0,7236	0,7225	0,7214	0,7203	0,7192	0,7181	51
49	0,7181	0,7170	0,7159	0,7148	0,7137	0,7126	0,7115	0,7104	0,7093	0,7082	0,7071	50
	100′	90′	80′	70′	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	Grados
	Seno											

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Grados	Tángente											
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	70'	80'	90'	100'	
0	0,0000	0,0016	0,0031	0,0047	0,0063	0,0079	0,0094	0,0110	0,0126	0,0141	0,0157	90
1	0,0157	0,0173	0,0189	0,0204	0,0220	0,0236	0,0251	0,0267	0,0283	0,0299	0,0314	89
2	0,0314	0,0330	0,0346	0,0361	0,0377	0,0393	0,0409	0,0424	0,0440	0,0456	0,0472	88
3	0,0472	0,0487	0,0503	0,0519	0,0535	0,0550	0,0566	0,0582	0,0598	0,0613	0,0629	87
4	0,0629	0,0645	0,0661	0,0676	0,0692	0,0708	0,0724	0,0740	0,0755	0,0771	0,0787	86
5	0,0787	0,0803	0,0819	0,0834	0,0850	0,0866	0,0882	0,0898	0,0914	0,0929	0,0945	85
6	0,0945	0,0961	0,0977	0,0993	0,1009	0,1025	0,1040	0,1056	0,1072	0,1088	0,1104	84
7	0,1104	0,1120	0,1136	0,1152	0,1168	0,1184	0,1200	0,1215	0,1231	0,1247	0,1263	83
8	0,1263	0,1279	0,1295	0,1311	0,1327	0,1343	0,1359	0,1375	0,1391	0,1407	0,1423	82
9	0,1423	0,1439	0,1455	0,1471	0,1487	0,1503	0,1519	0,1536	0,1552	0,1568	0,1584	81
10	0,1584	0,1600	0,1616	0,1632	0,1648	0,1664	0,1681	0,1697	0,1713	0,1729	0,1745	80
11	0,1745	0,1761	0,1778	0,1794	0,1810	0,1826	0,1843	0,1859	0,1875	0,1891	0,1908	79
12	0,1908	0,1924	0,1940	0,1956	0,1973	0,1989	0,2005	0,2022	0,2038	0,2055	0,2071	78
13	0,2071	0,2087	0,2104	0,2120	0,2137	0,2153	0,2169	0,2186	0,2202	0,2219	0,2235	77
14	0,2235	0,2252	0,2268	0,2285	0,2301	0,2318	0,2334	0,2351	0,2368	0,2384	0,2401	76
15	0,2401	0,2417	0,2434	0,2451	0,2467	0,2484	0,2501	0,2517	0,2534	0,2551	0,2568	75
16	0,2568	0,2584	0,2601	0,2618	0,2635	0,2651	0,2668	0,2685	0,2702	0,2719	0,2736	74
17	0,2736	0,2753	0,2769	0,2786	0,2803	0,2820	0,2837	0,2854	0,2871	0,2888	0,2905	73
18	0,2905	0,2922	0,2939	0,2956	0,2974	0,2991	0,3008	0,3025	0,3042	0,3059	0,3076	72
19	0,3076	0,3094	0,3111	0,3128	0,3145	0,3163	0,3180	0,3197	0,3214	0,3232	0,3249	71
20	0,3249	0,3267	0,3284	0,3301	0,3319	0,3336	0,3354	0,3371	0,3389	0,3406	0,3424	70
21	0,3424	0,3441	0,3459	0,3476	0,3494	0,3512	0,3529	0,3547	0,3565	0,3582	0,3600	69
22	0,3600	0,3618	0,3636	0,3654	0,3671	0,3689	0,3707	0,3725	0,3743	0,3761	0,3779	68
23	0,3779	0,3797	0,3815	0,3833	0,3851	0,3869	0,3887	0,3905	0,3923	0,3941	0,3959	67
24	0,3959	0,3977	0,3996	0,4014	0,4032	0,4050	0,4069	0,4087	0,4105	0,4124	0,4142	66
25	0,4142	0,4161	0,4179	0,4197	0,4216	0,4234	0,4253	0,4272	0,4290	0,4309	0,4327	65
26	0,4327	0,4346	0,4365	0,4383	0,4402	0,4421	0,4440	0,4459	0,4477	0,4496	0,4515	64
27	0,4515	0,4534	0,4553	0,4572	0,4591	0,4610	0,4629	0,4648	0,4667	0,4686	0,4706	63
28	0,4706	0,4725	0,4744	0,4763	0,4783	0,4802	0,4821	0,4841	0,4860	0,4879	0,4899	62
29	0,4899	0,4918	0,4938	0,4958	0,4977	0,4997	0,5016	0,5036	0,5056	0,5075	0,5095	61
30	0,5095	0,5115	0,5135	0,5155	0,5175	0,5195	0,5215	0,5235	0,5255	0,5275	0,5295	60
31	0,5295	0,5315	0,5335	0,5355	0,5375	0,5396	0,5416	0,5436	0,5457	0,5477	0,5498	59
32	0,5498	0,5518	0,5539	0,5559	0,5580	0,5600	0,5621	0,5642	0,5662	0,5683	0,5704	58
33	0,5704	0,5725	0,5746	0,5767	0,5787	0,5808	0,5829	0,5851	0,5872	0,5893	0,5914	57
34	0,5914	0,5935	0,5956	0,5978	0,5999	0,6020	0,6042	0,6063	0,6085	0,6106	0,6128	56
35	0,6128	0,6150	0,6171	0,6193	0,6215	0,6278	0,6258	0,6280	0,6302	0,6324	0,6346	55
36	0,6346	0,6368	0,6390	0,6412	0,6435	0,6457	0,6479	0,6502	0,6524	0,6546	0,6569	54
37	0,6569	0,6591	0,6614	0,6636	0,6659	0,6682	0,6705	0,6727	0,6750	0,6773	0,6796	53
38	0,6796	0,6819	0,6842	0,6865	0,6888	0,6911	0,6935	0,6958	0,6981	0,7005	0,7028	52
39	0,7028	0,7052	0,7075	0,7099	0,7122	0,7146	0,7170	0,7194	0,7218	0,7241	0,7265	51
40	0,7265	0,7289	0,7314	0,7338	0,7362	0,7386	0,7410	0,7435	0,7459	0,7484	0,7508	50
41	0,7508	0,7533	0,7557	0,7582	0,7607	0,7632	0,7657	0,7682	0,7707	0,7732	0,7757	49
42	0,7757	0,7782	0,7807	0,7833	0,7858	0,7883	0,7909	0,7934	0,7960	0,7986	0,8012	48
43	0,8012	0,8037	0,8063	0,8089	0,8115	0,8141	0,8167	0,8194	0,8220	0,8246	0,8273	47
44	0,8273	0,8299	0,8326	0,8352	0,8379	0,8406	0,8433	0,8460	0,8487	0,8514	0,8541	46
45	0,8541	0,8568	0,8595	0,8623	0,8650	0,8678	0,8705	0,8733	0,8761	0,8788	0,8816	45
46	0,8816	0,8844	0,8872	0,8900	0,8928	0,8957	0,8985	0,9014	0,9042	0,9071	0,9099	44
47	0,9099	0,9128	0,9157	0,9186	0,9215	0,9244	0,9273	0,9302	0,9332	0,9361	0,9391	43
48	0,9391	0,9420	0,9450	0,9480	0,9510	0,9540	0,9570	0,9600	0,9630	0,9660	0,9691	42
49	0,9691	0,9721	0,9752	0,9782	0,9813	0,9844	0,9875	0,9906	0,9937	0,9969	1,0000	41

Grados	Cotangente											
	100'	90'	80'	70'	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Grados	Cotangente											
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	70'	80'	90'	100'	
0	∞	636,62	318,31	212,21	159,15	127,32	106,10	90,942	79,573	70,781	63,657	90
1	63,657	57,869	53,045	48,964	45,466	42,433	39,780	37,439	35,358	33,496	31,821	89
2	31,821	30,304	28,926	27,667	26,513	25,452	24,472	23,564	22,722	21,937	21,205	88
3	21,205	20,520	19,878	19,274	18,706	18,171	17,665	17,187	16,733	16,303	15,895	87
4	15,895	15,506	15,136	14,783	14,446	14,124	13,815	13,520	13,238	12,967	12,706	86
5	12,706	12,456	12,215	11,984	11,761	11,546	11,339	11,139	10,946	10,759	10,579	85
6	10,579	10,404	10,236	10,072	9,9137	9,7601	9,6112	9,4667	9,3264	9,1902	9,0579	84
7	9,0579	8,9293	8,8042	8,6826	8,5642	8,4490	8,3367	8,2274	8,1209	8,0171	7,9158	83
8	7,9158	7,8170	7,7207	7,6266	7,5348	7,4451	7,3575	7,2719	7,1882	7,1064	7,0264	82
9	7,0264	6,9481	6,8715	6,7966	6,7233	6,6514	6,5811	6,5122	6,4447	6,3786	6,3138	81
10	6,3138	6,2502	6,1879	6,1267	6,0668	6,0080	5,9502	5,8936	5,8380	5,7834	5,7297	80
11	5,7297	5,6771	5,6253	5,5745	5,5246	5,4755	5,4272	5,3798	5,3332	5,2875	5,2422	79
12	5,2422	5,1978	5,1542	5,1112	5,0689	5,0273	4,9864	4,9461	4,9064	4,8673	4,8288	78
13	4,8288	4,7909	4,7536	4,7168	4,6805	4,6448	4,6096	4,5749	4,5407	4,5070	4,4737	77
14	4,4737	4,4410	4,4086	4,3768	4,3453	4,3143	4,2837	4,2535	4,2237	4,1943	4,1653	76
15	4,1653	4,1367	4,1084	4,0805	4,0529	4,0257	3,9989	3,9724	3,9462	3,9203	3,8947	75
16	3,8947	3,8695	3,8446	3,8199	3,7956	3,7715	3,7477	3,7242	3,7010	3,6781	3,6554	74
17	3,6554	3,6330	3,6108	3,5889	3,5672	3,5457	3,5245	3,5036	3,4828	3,4623	3,4420	73
18	3,4420	3,4220	3,4021	3,3824	3,3630	3,3438	3,3247	3,3059	3,2873	3,2688	3,2506	72
19	3,2506	3,2325	3,2146	3,1969	3,1793	3,1620	3,1448	3,1278	3,1109	3,0942	3,0777	71
20	3,0777	3,0613	3,0451	3,0290	3,0131	2,9974	2,9818	2,9663	2,9510	2,9358	2,9208	70
21	2,9208	2,9059	2,8911	2,8765	2,8620	2,8476	2,8333	2,8192	2,8052	2,7914	2,7776	69
22	2,7776	2,7640	2,7505	2,7371	2,7238	2,7106	2,6976	2,6846	2,6718	2,6590	2,6464	68
23	2,6464	2,6339	2,6215	2,6092	2,5970	2,5848	2,5728	2,5609	2,5491	2,5378	2,5257	67
24	2,5257	2,5142	2,5027	2,4913	2,4801	2,4689	2,4578	2,4468	2,4358	2,4250	2,4142	66
25	2,4142	2,4035	2,3929	2,3824	2,3719	2,3616	2,3513	2,3411	2,3309	2,3209	2,3109	65
26	2,3109	2,3009	2,2911	2,2813	2,2716	2,2620	2,2524	2,2429	2,2334	2,2241	2,2148	64
27	2,2148	2,2055	2,1963	2,1872	2,1782	2,1692	2,1602	2,1514	2,1426	2,1338	2,1251	63
28	2,1251	2,1165	2,1079	2,0994	2,0909	2,0825	2,0741	2,0658	2,0576	2,0494	2,0413	62
29	2,0413	2,0332	2,0251	2,0171	2,0092	2,0013	1,9935	1,9857	1,9779	1,9703	1,9626	61
30	1,9626	1,9550	1,9475	1,9400	1,9325	1,9251	1,9177	1,9104	1,9031	1,8959	1,8887	60
31	1,8887	1,8815	1,8744	1,8673	1,8603	1,8533	1,8464	1,8395	1,8326	1,8258	1,8190	59
32	1,8190	1,8122	1,8055	1,7989	1,7922	1,7856	1,7791	1,7725	1,7661	1,7596	1,7532	58
33	1,7532	1,7468	1,7405	1,7341	1,7279	1,7216	1,7154	1,7092	1,7031	1,6970	1,6909	57
34	1,6909	1,6849	1,6788	1,6729	1,6669	1,6610	1,6551	1,6492	1,6434	1,6376	1,6319	56
35	1,6319	1,6261	1,6204	1,6147	1,6091	1,6034	1,5979	1,5923	1,5867	1,5812	1,5757	55
36	1,5757	1,5703	1,5649	1,5595	1,5541	1,5487	1,5434	1,5381	1,5328	1,5276	1,5224	54
37	1,5224	1,5172	1,5120	1,5068	1,5017	1,4966	1,4915	1,4865	1,4814	1,4764	1,4715	53
38	1,4715	1,4665	1,4616	1,4566	1,4517	1,4469	1,4420	1,4372	1,4324	1,4276	1,4229	52
39	1,4229	1,4181	1,4134	1,4087	1,4040	1,3994	1,3947	1,3901	1,3855	1,3809	1,3764	51
40	1,3764	1,3718	1,3673	1,3628	1,3584	1,3539	1,3495	1,3450	1,3406	1,3362	1,3319	50
41	1,3319	1,3275	1,3232	1,3189	1,3146	1,3103	1,3061	1,3018	1,2976	1,2934	1,2892	49
42	1,2892	1,2850	1,2809	1,2767	1,2726	1,2685	1,2644	1,2603	1,2563	1,2522	1,2482	48
43	1,2482	1,2442	1,2402	1,2362	1,2323	1,2283	1,2244	1,2205	1,2166	1,2127	1,2088	47
44	1,2088	1,2049	1,2011	1,1973	1,1934	1,1896	1,1859	1,1821	1,1783	1,1746	1,1708	46
45	1,1708	1,1671	1,1634	1,1597	1,1561	1,1524	1,1487	1,1451	1,1415	1,1379	1,1343	45
46	1,1343	1,1307	1,1271	1,1236	1,1200	1,1165	1,1130	1,1094	1,1059	1,1025	1,0990	44
47	1,0990	1,0955	1,0921	1,0886	1,0852	1,0818	1,0784	1,0750	1,0716	1,0682	1,0649	43
48	1,0649	1,0615	1,0582	1,0549	1,0516	1,0483	1,0450	1,0417	1,0384	1,0352	1,0319	42
49	1,0319	1,0287	1,0255	1,0222	1,0190	1,0158	1,0126	1,0095	1,0063	1,0031	1,0000	41

100'	90'	80'	70'	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Grados
Tangente											

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

9. Líneas trigonométricas, en función de e y de i:

$$e = 2{,}718281828\ldots \qquad i = \sqrt{-1}$$

$$\operatorname{sen} a = \frac{e^{ai} - e^{-ai}}{2i}\ ; \qquad \cos a = \frac{e^{ai} + e^{-ai}}{2}\ ;$$

$$\operatorname{tg} a = \frac{e^{2ai} - 1}{i\left(e^{2ai} + 1\right)}\ ; \qquad \cot a = \frac{i\left(e^{2ai} + 1\right)}{e^{2ai} - 1}\ .$$

10. *Raíces cúbica y de grado superior.*—Algunas veces hay que extraer la raíz n s^{ima} de un número, en circunstancias tales, que no pueden usarse los logaritmos, bien por la extensión del número ó por la aproximación que se quiere alcanzar. Entonces se aplican las siguientes fórmulas, debidas á Halley, para extraer la raíz de un binomio:

$$(1)\quad \sqrt[3]{(a^3 \pm b)} = \frac{1}{2}a + \sqrt{\frac{a^2}{4} \pm \frac{b}{3a}}$$

$$(2)\quad \sqrt[4]{(a^4 \pm b)} = \frac{2}{3}a + \sqrt{\frac{a^2}{9} \pm \frac{b}{6a^2}}$$

$$(3)\quad \sqrt[5]{a^5 \pm b} = \frac{3}{4}a + \sqrt{\frac{a^2}{16} \pm \frac{b}{10a^3}}$$

.....

$$(n)\quad \sqrt[n]{(a^n \pm b)} = \frac{n-2}{n-1}a + \sqrt{\frac{a^2}{(n-1)^2} \pm \frac{2b}{n^2 - n)\, a^{n-2}}}$$

Ejemplo: Se busca la raíz quinta de 161900 con doce cifras decimales, cosa imposible con los logaritmos. Con el cálculo logarítmico se obtienen las primeras cifras, y resulta:

$\sqrt[5]{161900} = 11{,}012$; $\sqrt[5]{11{,}012} = 161931.378732020728832$, que excede á 161900 en $31.378732020728832 = b$.

Sustituyendo en la fórmula (3), citada antes, se tiene

$$\sqrt[5]{161931.378732202078832 - 31.37878202078832} = 8.259 +$$

$$+ \sqrt{7.579009 - \frac{31.378732020728832}{13353{,}60753728}} = 11{,}011573190339,$$ que es la raíz con la aproximación pedida.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

11. *Fórmulas de la integración por partes:*

$$\int u\,d\,v = u\,v - \int v\,d\,u\,.$$

12. *Integrales fundamentales indefinidas:*

$$\int x^m d\,x = \frac{x^{m+1}}{m+1} + C \qquad \text{para } m \text{ distinto de } -1$$

$$\int \frac{d\,x}{x} = \log x + C$$

$$\int a^x\,d\,x = \frac{a^x}{\log a} + C$$

$$\int e^x\,d\,x = e^x$$

$$\int \operatorname{sen} x\,d\,x = -\cos x + C$$

$$\int \cos x\,d\,x = \operatorname{sen} x + C$$

$$\int \frac{d\,x}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x + C$$

$$\int \frac{d\,x}{\operatorname{sen}^2 x} = -\operatorname{cotg} x + C$$

$$\int \frac{d\,x}{\sqrt{1-x^2}} \operatorname{arc\,sen} x + C = -\operatorname{arc\,cos} x + G$$

$$\int \frac{d\,x}{1+x^2} = \operatorname{arc\,tg} x + C = -\operatorname{arc\,ctg} x + G$$

$$\int \frac{d\,x}{\operatorname{sen} x} = \log_e \operatorname{tg} \frac{x}{2} + C$$

$$\int \frac{d\,x}{1-x^2} = \log_e \frac{\sqrt{1+x^2}}{1+x} + C$$

$$\int \log x\,d\,x = x \log_e x - x + C$$

$$\int \operatorname{tg} x\,d\,x = \log_e \cos x + C$$

$$\int \operatorname{sec} x\,d\,x = \frac{1}{2} \log_e \frac{1+\operatorname{sen} x}{1-\operatorname{sen} x} + C$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

$$\int \text{arc sen } x\, dx = \text{arc sen } x + \sqrt{1-x^2} + C$$

$$\int \text{arc tg } x\, dx = x \text{ arc tg } x - \frac{1}{2} \log_e (1+x^2) + C$$

$$\int \text{arc sec } x\, dx = x \text{ arc sec } x - \log_e \left(x + \sqrt{x^2+1}\right) + C$$

$$\int dx \sqrt{1-x^2} = \frac{x}{2} \sqrt{1-x^2} - \frac{1}{2} \text{ arc sen } x + C$$

$$\int dx \sqrt{1+x^2} = \frac{x}{2} \sqrt{1+x^2} + \frac{1}{2} \log_e \left(x + \sqrt{1+x^2}\right) + C$$

$$\int \frac{dx}{x} \sqrt{1+x^2} = \sqrt{1+x^2} - \log_e \frac{1+\sqrt{1+x^2}}{x} + C$$

$$\int \frac{dx}{x} \sqrt{x^2-1} = \sqrt{x^2-1} - \text{arc cos } \frac{1}{x} + C$$

$$\int \frac{dx}{x} \sqrt{1-x^2} = \sqrt{1-x^2} + \log_e \frac{1-\sqrt{1-x^2}}{x} + C$$

$$\int \frac{dx}{x^2-1} = \frac{1}{6} \log_e \frac{(x-1)^2}{x^2+x+} - \text{arc tg } \frac{2x+1}{\sqrt{3}} + C$$

$$\int \frac{dx}{1+\cos x} = \text{tg } \frac{x}{2} + C$$

$$\int \text{sen}^2 x\, dx = -\frac{1}{4} \text{ sen } 2x + \frac{1}{2} x$$

$$\int \text{sen } ax \cos bx\, dx =$$

$$= \frac{1}{b^2-a^2} \left\{ b \text{ sen } bx \text{ sen } ax + a \cos bx \cos ax \right\} + C$$

$$\int x^n \log_e x\, dx = x^{n+1} \left\{ \frac{\log x}{n+1} - \frac{1}{(n+1)^2} \right\} + C$$

(para n distinto de -1

$$\int \text{sen } (\log_e x)\, dx = \frac{x}{2} \left\{ \text{sen } (\log_e x) - \cos (\log_e x) \right\} + C$$

$$\int \cos (\log_e x)\, dx = \frac{x}{2} \left\{ \text{sen } (\log_e x) - \cos (\log_e x) \right\} + C$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

$$\int \frac{\log_e (\log_e x)}{x} d x = \log_e x \log_e (\log_e x) - \log_e x + C$$

$$\int \frac{d x}{1 + e^x} = \log_e \frac{e^x}{1 + e^x} + C$$

$$\int x e^x d x = e^x (x - 1) + C.$$

13. *Algunas integrales definidas.*

$$\int_0^1 \frac{d x}{1 + x + x^2} = \frac{\pi}{3\sqrt{3}}$$

$$\int_0^1 \sqrt{\log_e \frac{d x}{x}} = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

$$\int_0^1 \frac{d x}{\sqrt{\log_e \frac{1}{x}}} = \sqrt{\pi}$$

$$\int_0^1 \frac{d x}{\log_e (\log_e x)} = 0$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \operatorname{tg} x \, d x = \frac{1}{2} \log_e 2$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d x}{1 - \operatorname{sen} x \cos \lambda} = (\pi - \lambda) \operatorname{cosec} \lambda$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} x \operatorname{tg} d x = \infty$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \log \operatorname{sen} x \, d x = -\frac{\pi}{2} \log 2$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \log \operatorname{tg} x \, d x = 0$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

$$\int_0^{\pi} \operatorname{sen} a\,x \operatorname{sen} b\,x\,dx = \int_0^{\pi} \cos a\,x \cos b\,x\,dx = 0$$

$$\int_0^{\pi} \frac{dx}{\cos x} = 0$$

$$\int_0^{\infty} e^{-x} x^n\,dx = n!$$

$$\int_0^{\infty} e^{-\frac{1}{x^2}}\,dx = \sqrt{\pi}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{\operatorname{sen} b\,x}{\operatorname{sen} a\,x} = 0$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x}{e^x + 1}\,dx = \frac{\pi^2}{12}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x}{e^x - 1}\,dx = \frac{\pi^2}{6}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{\cos \rho\,x}{x\sqrt{x}}\,dx = -\sqrt{2\pi\rho}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\operatorname{sen} a\,x}{x}\,dx = \pi$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}$$

14. *Centros de gravedad.—Arco de círculo* (r, radio; c, cuerda; a, longitud del arco): distancia z del centro de gravedad al centro del arco; $z = \dfrac{r\,c}{a}$; semicircunferencia, $z = \dfrac{2\,r}{\pi}$.

Sector circular: $z = \dfrac{2\,r\,c}{3\,a}$.

Semicírculo: $z = 0{,}424\,r$.

Segmento de círculo (S, superficie c = cuerda): $z = \dfrac{c^3}{12\,S}$.

Arco de corona circular (R, r, radios; α, semiángulo en el centro):

$$z = \frac{2}{3}\,\frac{\operatorname{sen}\alpha}{\alpha}\,\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2};\quad \text{semicorona } z = \frac{4}{3\,\pi}\,\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Segmento de parábola (*s*, flecha): distancia del centro de gravedad al vértice $= \frac{3}{5}\ s$. Esta expresión es aplicable al segmento interceptado por una curva cualquiera, siendo *s* la flecha sobre el diámetro conjugado de la cuerda.

Triángulo: El centro de gravedad se halla en el punto de encuentro de *las medianas*, ó sobre una de éstas, á los $^2/_3$ del vértice.

Trapecio ($a > b$, lados paralelos; *h*, altura); el centro de gravedad se encuentra en la recta que une los puntos medios de *a* y *b*, á una distancia del lado mayor, dada por la fórmula

$$z = \frac{a + 2b}{a + b} \cdot \frac{h}{3}.$$

$D\,E = A\,B.$

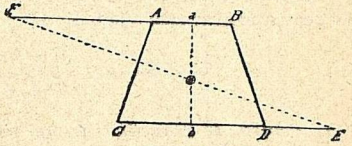


Fig. 1.

Figura plana cualquiera. — Método aproximado: se divide la figura en fajas, por medio de un sistema de ordenadas paralelas; se suman los productos del área de cada faja por la distancia de su mediana á la primera ordenada ó á la tangente, y se divide esta suma por el área total de la figura; el cociente es la distancia del centro de gravedad á la primera ordenada ó á la tangente. Repitiendo la operación para otro sistema de ordenadas, se determina, por intersección, el centro de gravedad.

Superficie de la zona ó del segmento esférico: centro de gravedad á $^1/_2$ de la altura.

Superficie lateral de la pirámide ó cono: centro de gravedad en el eje á $^2/_3$ del vértice.

Superficie lateral del tronco de cono (*R r*, radios de la base; *h* altura): centro de gravedad en el eje, á una distancia de la base mayor, $z = \frac{h}{3} \frac{R+2r}{R+r}$.

Segmento de esfera (*r*, radio; *h*, flecha): distancia del centro de gravedad al centro de la esfera, $z = \frac{3}{4} \frac{(2r-h)^2}{3r-h}$. Para el hemisferio: $z = \frac{3}{8} 2r$.

Sector esférico (*r*, radio de la esfera; *h*, altura): $z = \frac{3}{4}\left(r - \frac{h}{2}\right)$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Hemisferio hueco (R r, radios): $z = \frac{3}{8} \frac{R^4 - r^4}{R^3 - r^3}$.

Pirámide ó cono: centro de gravedad en el eje á $^1/_4$ de la base.

Pirámide ó cono truncado (A, A_1, bases; h, altura); distancia del centro de gravedad á la base mayor A:

$$z = \frac{\rho}{4} \frac{A + 2\sqrt{A A_1} + 3 A_1}{A + \sqrt{A A_1} + A_1}.$$

Prismoide (A, A_1, bases; h, altura; A_2, sección media): distancia del centro de gravedad á la base A:

$$z = h \frac{A_1 + 2 A_2}{A + A_1 + A_2}.$$

15. *Centro de gravedad de un sistema de puntos, en los que hay aplicadas cantidades iguales ó diferentes, referidas á una unidad cualquiera* (unidad de peso, volumen, población, consumo de agua, gas, etcétera, etc.).

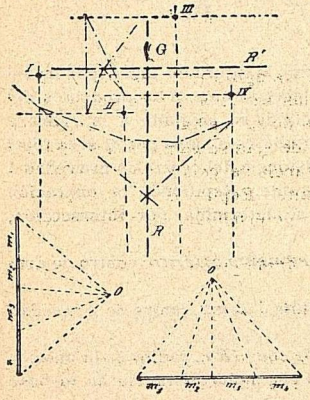


Fig. 2.

Sean (fig. 2) los puntos I, II, III, IV... en que se hallan aplicadas las cantidades m_1, m_2, m_3... Según una dirección arbitraria, se llevan las longitudes que representan las cantidades m_1 m_2 m_3...; desde un punto cualquiera O (polo), se trazan los radios y el polígono, que dará una resultante R.

Se repite la operación, tomando como base una nueva dirección, y se obtiene una resultante R', cuya intersección con la R, da la posición del centro de gravedad G.

16. *Centro de gravedad de una figura cualquiera.* — Descompuesta la figura en otras figuras elementales cuyas áreas y centros de gravedad se conozcan, se consideran estos centros de gravedad como un sistema de puntos, en los que están aplicadas cantidades proporcionales á las áreas respectivas, y se procede como en el caso anterior (§ 15).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

17. *Integración y derivación gráfica de una figura cualquiera:*

$$f = \frac{1}{b} \sum_{1}^{n} y_1 \triangle x_1.$$

El método más cómodo y usual es el siguiente (fig. 3). Descompuesta la figura en arcos elementales, mediante rectas paralelas á

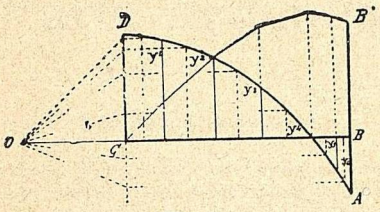


Fig. 3.

la *C D*, se toman las ordenadas medias y se proyectan sobre la *C D*.

Desde el punto *O*, situado á la distancia *b* (base de reducción) de *C*, se trazan las rectas que unen *O* con los extremos de las proyecciones, y á partir de *C* se trazan segmentos paralelos á los rayos proyectantes y se prolongan hasta encontrar sucesivamente las ordenadas extremas de cada área elemental.

El segmento *B B'* da la integral buscada.

Por un procedimiento inverso puede obtenerse la derivada.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Parte segunda

§ 1.—**Notas preliminares.**

18. *Constitución y propiedades del agua.*—El agua es un *líquido* compuesto químicamente de dos gases, *oxígeno* é *hidrógeno*, y se representa por el símbolo químico H^2O, en la teoría atómica.

El agua no existe en la Naturaleza absolutamente pura. Un litro de agua pesa: á 0° cent. $0^{kg}.,930$; á 4°. — $1^{kg}.,00$; á 10°, — $0^{kg}.,99972$; á 16°, 0 — $0^{kg}.,999$; á 100°, — $0^{kg}.,9567$.

En general, el volumen V del agua á la temperatura de t^0 centígrados está dado por la fórmula

$$V = e\,\frac{a\,t + b\,t^2 + c\,t^3 + d\,t^4}{1 + f\,t},$$

en la cual

$$a = -\,0,000062400;$$
$$b = 0,0000063245;$$
$$c = 0,000000191314;$$
$$e = 2,7182818;$$
$$d = -\,0,00000000050048;$$
$$f = 0,0362891145.$$

Resolviendo para t la

$$\frac{\triangle v}{\triangle t} = o,$$ se obtiene $t = 3°,908$,

ó sea cerca de 4° cent., que es la temperatura á que el agua tiene la densidad máxima.

El agua es incompresible, ó, al menos, puede admitirse como tal, puesto que á la máxima densidad, y bajo la presión de una atmósfera, su volumen sólo disminuye en $\frac{1}{48000000}$ (Oersted, Nazzani).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

19. *Yacimientos y extracción del agua.*—El agua, en sus diversos yacimientos, toma formas muy variadas, algunas de ellas desconocidas hasta ahora, como el agua de cristalización y la combinada químicamente en casi todas las substancias. El agua se presenta:

a) En la atmósfera en estado de vapor.
b) En las heleras en estado sólido.
c) En los ríos y torrentes (aguas comunes).
d) En los lagos (aguas comunes).
e) En el mar.
f) En depósitos subterráneos.
g) En corrientes subterráneas.
h) En grandes capas subterráneas.

El agua, como mineral, puede considerarse dividida en tres grandes categorías, bien definidas por caracteres especiales, y son:

1.° Aguas potables.
2.° Aguas comunes.
3.° Aguas minerales.

Las primeras son las más puras, y sirven especialmente para la nutrición y alimento del hombre. Deben contener la menor cantidad posible de substancias minerales, y sólo se admite en ellas indicios de materias orgánicas; la temperatura no debe exceder de 18°.

Las aguas comunes son más ricas en substancias minerales y orgánicas, y sólo sirven en las diversas industrias.

Por último, las aguas minerales son tan ricas en estas substancias, que pueden utilizarse para extraer algún principio destinado á usos industriales, ó emplearse en aplicaciones medicinales.

20. *Nubes.*—El agua en las nubes se encuentra en estado de vapor; pero, á consecuencia de las circunstancias atmosféricas y de las leyes que rigen las variaciones de temperatura en las mezclas de vapores, sucede á menudo que el agua se congela bajo la forma de vapor, dando bellísimos cristales de formas infinitamente variadas, ó bien se congela después de haberse condensado, produciendo granizo. El meteoro más frecuente es la lluvia; es decir, la simple condensación de vapores.

La altura y localidad de las nubes son variadísimas. En la antigüedad, la superstición sugería medios para producir la lluvia, y posteriormente la observación creó la meteorología, que en las ciudades más antiguas alcanzó alto grado de desarrollo. Actualmente el uso del barómetro y del higrómetro y las noticias telegráficas del meteoro en otros países, el estudio de las corrientes aéreas y todas las observaciones metereológicas, permiten en algún modo prever las lluvias dentro de ciertos períodos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

21. *Eudiómetros y pluvímetros*—Para registrar la cantidad de lluvia se ha convenido en llamar altura de lluvia la que alcanzaría el agua llovida si no corriese sobre el terreno y éste no la absorbiese (fig. 4).

Para medir la altura de lluvia se emplean unos instrumentos llamados *eudiómetros* ó *pluvímetros*.

El primero que concibió tales aparatos fué el abate Castelli, según se deduce de una carta suya.

El eudiómetro más sencillo consiste en un embudo de superficie conocida, que, expuesto á la lluvia, recoge el agua que directamente cae en su perímetro. Esta agua, recogida, se mide después por medio de un cilindro graduado, y la cantidad que resulte, dividida por la superficie del pluvímetro, da la altura de la lluvia caída.

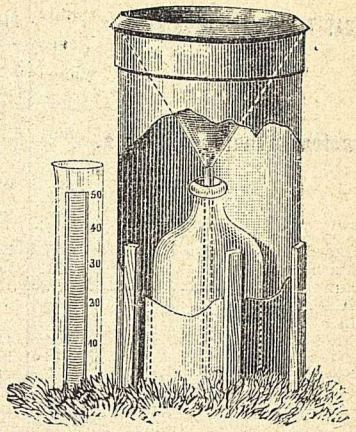


Fig. 4.

Estos eudiómetros son imperfectos é insuficientes para las observaciones rigurosas que requiere la metereología y se han abandonado, usándose actualmente pluvímetros que, además de dar la altura de la lluvia, indican la duración é intensidad durante el período del meteoro.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPITALES DE PROVINCIA Y Estaciones meteorológicas.	Altura sobre el nivel del mar.	Pluvímetro: LLUVIA MEDIA ANUAL — Altura de agua caída.	Pluvímetro: LLUVIA MEDIA ANUAL — Días de lluvia.	Pluvímetro: Lluvia máxima un día.	Evaporación media.	Estado general de la atmósfera. DÍAS DE — Llovizna	Niebla	Rocío	Escarcha	Nieve	Granizo	Tempestad
	Mets.	Mm.	Núm.	Mm.	Mm.	☁	≈	(	❄	❄	△	K
Albacete E. M.	685,9	451	57	31	5,3	43	26	29	39	6	6	28
Alcalá la Real E. M.	921,0	558	83	30	4,4	16	15	91	31	17	8	16
Alicante E. M. *	3,6	513	40	47	4,4	»	»	»	»	»	»	»
Archidona E. M. *	660,4	»	»	»	»	»	12	»	44	1	»	»
Avila E. M. *	1126,1	»	»	»	5,4	24	22	175	98	17	9	24
Badajoz E. M.	183,5	374	55	47	5,9	»	18	»	»	»	»	5
Baleares (Mahón) E. M.	43.4	460	80	35	3,9	35	5	143	12	2	3	4
Barbastro E. M. *	316,0	437	75	32	6,4	11	31	34	56	3	3	27
Barcelona E. M.	4,7	510	69	40	2,6	53	2	»	4	15	2	2
Burgos E. M.	856,3	418	82	63	2,7	33	34	51	51	14	4	10
Cádiz *	4,7	252	38	24	6,4	4	1	»	»	»	»	3
Canarias (Las Palmas) E. M. *	9,4	209	55	58	4,4	23	3	»	»	»	»	»
Cartagena E. M.	5,3	575	55	64	4,6	12	1	16	»	»	»	1
Cazorla E. M. *	820,4	651	78	42	4,9	4	22	»	5	6	2	19
Ciudad Real E. M. *	635,1	206	53	21	2,4	»	»	»	»	»	»	»
Coruña E. M.	5,5	555	136	21	4.3	10	118	»	»	»	»	1
Don Benito E. M. *	»	218	33	16	3,2	3	1	7	8	1	3	»
El Escorial E. M.	921,6	749	96	56	3,6	4	17	18	41	8	3	13
Guipúzcoa (S. Sebastián) E. M.	5 1	1127	169	39	3,4	10	7	52	2	5	10	17
Huesca E. M. *	466,0	271	66	21	4,7	1	6	»	»	»	»	9
Jaén E. M. *	573,8	572	83	36	4.9	18	13	1	2	4	2	17
La Guardia (Pontevedra) E. M.	8,4	1384	110	82	2 0	11	49	60	»	»	3	22
Laguna (Tenerife) E. M. *	506,4	528	97	26	3,1	2	5	29	»	»	»	»
La Vid (Burgos) E. M. *	950,4	501	65	21	7 8	19	39	30	55	8	13	23
León E. M.	805,4	288	65	22	4.0	26	37	4	73	29	8	9
Llanes (Oviedo) E. M.	27,4	682	145	22	1.7	»	4	49	1	2	12	10
Madrid E. M.	656,2	482	105	51	4 0	21	9	86	55	3	»	7
Málaga E. M. *	9,0	471	33	74	4 4	4	3	»	»	»	2	6
Manresa E. M. *	233 0	611	58	72	3,4	25	6	205	49	4	»	15
Mataró E. M. *	22,8	432	41	35	4,5	39	5	»	»	1	2	4
Murcia E. M.	43,0	568	65	71	6,8	19	8	67	7	1	1	15
Navarra (Pamplona) E. M.	450,0	677	122	46	1.6	20	28	33	18	10	2	8
Orduña E. M.	303,4	697	126	29	2,6	11	4	37	14	16	7	18
Orense E. M. *	126,0	650	115	38	4,5	»	23	22	8	»	»	»
Oviedo E. M.	244,4	702	117	28	3,3	44	34	»	9	4	1	5
Palencia E. M.	750,4	163	46	29	3,5	45	91	109	99	20	20	30
Palma (Mallorca) E. M.	20,4	164	73	44	2,9	26	1	»	»	»	2	4
Salamanca E. M. *	776 5	198	68	26	2.3	4	41	3	11	4	4	16
San Fernando E. M.	29,5	626	69	67	3,6	1	3	100	»	»	1	9
Sanlúcar de Barrameda E. M.	13,0	624	57	46	4,7	19	17	108	3	»	2	14

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPITALES DE PROVINCIA Y Estaciones meteorológicas.	Altura sobre el nivel del mar.	Pluvímetro — LLUVIA MEDIA ANUAL: Altura de agua caída.	Días de llu.ª	Lª mª un día	Evaporación media	Estado general de la atmósfera. DÍAS DE: Llovizna	Niebla	Rocío	Escarcha	Nieve	Granizo	Tempestad
	Mets.	*Mm.*	*Núm.*	*Mm.*	*Mm*	●	≀ ≀ ≀	⌒	⌋	✚	△	K
Santander E. M.....*	7,2	286	63	23	3.4	»	4	55	4	1	»	»
Santiago E. M.....	264,3	1265	162	60	1,9	3	32	12	5	2	8	14
Segovia E. M.....	1001,6	627	107	50	5,0	12	15	2	53	15	10	20
Sevilla E. M.....	11,5	746	64	83	3,9	41	11	86	6	»	1	4
Soria E. M.	1055,3	422	69	37	1,9	42	11	45	69	8	8	20
Tafalla (Navarra) E. M	421,7	390	74	32	5,2	44	14	54	40	10	2	20
Teruel E. M.....	915,7	402	42	56	4,7	4	32	6	44	5	2	12
Ubeda E. M,.....	757,6	230	42	41	4,1	6	5	»	»	1	»	12
Valencia E. M.....	13,3	700	88	84	4,9	31	»	51	9	1	3	20
Valladolid E. M.....	691,9	250	53	21	5,8	41	31	»	22	6	1	10
Vigo E. M.....	30,7	1059	116	48	3,0	»	25	51	27	1	5	2
Villafranca del Panadés E. M..*	223,7	115	13	19	2,4	1	12	4	10	1	»	»
Villanueva y Geltrú E. M.....*	31,0	28	11	14	3,7	10	6	18	»	»	»	5
Vizcaya (Bilbao) E. M.....	8,8	961	151	33	3,8	15	43	76	17	5	15	17
Zaragoza E. M.....	199,8	177	39	15	5,0	5	8	»	»	2	1	13

Nota 1.ª—Las iniciales E. M. significan Estación Meteorológica.

Idem 2.ª—Las Estaciones que tienen asterisco significa que las observaciones son incompletas.

Idem 3.ª—Las poblaciones que no figuran en el cuadro carecen de Estación Meteorológica, ó, si la tienen, no publican sus observaciones.

23. *Repartición del agua de lluvia.*—De la cantidad de lluvia caída, una parte, P_1, corre sobre la superficie de la tierra, por los arroyos, torrentes y ríos; otra parte, P_2, se filtra en el terreno; una tercera parte, P_3, es absorbida por las plantas, y, por último, otra parte, P_4, se evapora.

El agua recogida por los cauces, con relación á la lluvia caída, varía mucho, influyendo notablemente en ello las condiciones de las cuencas.

Asimismo, es muy variable la evaporación media diaria, no sólo en las distintas localidades, sino en las épocas del año.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Versailles cree haber hallado una fórmula general en que, llamando T la altura total de lluvia, daría

$$P_1 = \frac{1}{3}\,T;\quad P_2 = \frac{1}{2}\,T;\quad P_3 = 0{,}055\;T;\quad P_4 = 0{,}0012\;n, \qquad (1)$$

siendo n el número de días lluviosos.

El ingeniero belga Van Diessen propone para la evaporación:

$$U = u\left(W + \frac{1}{3}L\right) + \frac{2}{3}\,x\,\frac{2}{3}\,n\,r\,L, \qquad (2)$$

en la que x es la parte proporcional de lluvia que se evapora, U el volumen total evaporado en un tiempo dado, r la altura de lluvia, y n la altura de agua evaporada en el mismo tiempo, W la superficie líquida de los arroyos, canales, ríos, etc., y L la superficie de la tierra seca.

El profesor Palladini da las siguientes fórmulas:

$$H_c = H - h - e\,(t_y - t_4) - K\,(t_2 + t_3);$$
$$H_e = H_0 + e\,(t_0 - t_4);$$
$$H_i = K\,(t_2 + t_0);$$

en la que

H = altura total pluviométrica en metros;

H_c = parte que corre sobre la superficie del suelo;

H_e = ídem correspondiente á la evaporación;

H_i = ídem íd. á la filtración;

h_0 = coeficiente variable con la naturaleza del terreno;
= 0,002 para bosques y prados;
= 0,001 para terrenos ordinarios;
= 0,0002 para terrenos rocosos;

e = altura de evaporación en m. p. 1"; crece al disminuir la latitud;

$$t_2 = t - t_0;\qquad t_0 = h_0\,\frac{t}{H};\qquad t_3 = \frac{2}{\gamma\sqrt{i}};$$

t = duración en 1" de la caída de H;

i = duración pendiente media del suelo;

γ = coeficiente variable con la naturaleza del terreno;
= 50 para terrenos rocosos;
= 40 ídem íd. irregulares y cultivados;
= 30 ídem prados;

$$t_4 = \frac{2\,d}{8\,\alpha\sqrt{i}};\qquad \alpha = \sqrt{\frac{H - h_0 - Kt_0}{8\sqrt{i}\,t_2}};$$

d = distancia media en metros que debe recorrer el agua para llegar al cauce de evacuación;

K = coeficiente de permeabilidad.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

24. *Utilización del agua de las nubes.*—Para utilizar el agua de las nubes no hay medios que puedan llamarse de extracción. Los únicos son las cisternas y depósitos. Las cisternas son obras de fábrica, generalmente subterráneas y cubiertas con bóvedas, y á ellas se conduce por tuberías el agua caída en los techos y cubiertas.

Las cisternas venecianas, destinadas únicamente á los usos domésticos, tienen la ventaja de estar unidas á un filtro. Consisten en una excavación troncocónica, revestida de arcilla comprimida. En el centro se eleva un trozo de pozo de fábrica con el fondo perforado; el espacio entre el pozo y las paredes de la excavación se rellenan de arena limpia y piedra machacada. Se cubre todo de empedrado, dejando algunos pocillos, donde se conduce el agua pluvial para extenderse por el filtro y pasar después al pozo.

Depósitos ó pantanos.—Consisten en cerrar un valle por medio de un dique, con objeto de detener las aguas pluviales, principalmente en invierno, para utilizarlas en el estío. La capacidad de los pantanos se determina en función de la altura de lluvia y de la amplitud de la cuenca que deja afluir el agua al pantano.

25. *Heleras.*—Las heleras ó *glaciares* son los yacimientos del mineral agua en estado sólido. Son masas inmensas de hielo, debidas á las nieves de las grandes cordilleras y que á veces descienden lentamente hasta que encuentran una temperatura bastante alta para fundirse. Las heleras de los Alpes alimentan todos los ríos y manantiales alpinos. Las heleras polares descienden á los mares y avanzan por ellos formando montañas de hielo y mares helados.

Las heleras son más frecuentes y extensas en las regiones y estaciones frías. En la mayor parte de Europa, Asia y América del Norte, en ciertas estaciones cubre el hielo la superficie del suelo. Aún en esta forma se extrae el agua de sus yacimientos y se emplea en los usos de la vida. En los Estados Unidos, Inglaterra y Bélgica se transporta el hielo natural á los centros de consumo.

La mala calidad del agua hace mala la del hielo, porque no basta la baja temperatura para destruir ciertos organismos patógenos. Por esta razón, hoy se extiende la fabricación del hielo artificial, hecho exclusivamente con agua potable esterilizada.

26. *Ríos y torrentes.*—Las aguas de los ríos y torrentes se consideran como aguas comunes y no como potables, aunque en algunos casos puedan emplearse como tales. Los cursos de agua cuyo origen son fuentes en las montañas ó proceden de la fusión de las nieves ó de algún vasto depósito natural que almacena las aguas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de lluvia, se llaman ríos si tienen una alimentación perenne de agua, y torrentes cuando las aguas no son continuas. En los ríos y torrentes el agua está siempre en movimiento y se encuentra en el punto más bajo del valle que los alimenta.

El lecho de los ríos y torrentes no guarda siempre una posición constante, y, en general, está limitado por una capa de grava permeable ó terreno aluvial, en la que, al llegar, penetra el agua y da lugar á las corrientes, que se denominan subálveas.

En los torrentes, especialmente, sucede con frecuencia que, mientras el lecho está perfectamente seco, debajo hay corrientes á veces considerables.

La extracción del agua de ríos y torrentes se efectúa de los modos siguientes:

Por derivación sencilla.
Por derivación regulada.
Por presas fijas ó móviles.
Por galerías subterráneas.

27. *Lagos.*—También las aguas de los lagos se consideran como comunes, aunque en algunos casos se emplean como potables, á falta de otras mejores. Generalmente se las dedica á usos agrícolas é industriales. Los lagos son grandes estanques naturales ó ensanches del lecho de un río, formados por acciones geológicas. Otras veces están constituídos por el cráter de algún antiguo volcán.

La extracción del agua de los lagos se hace generalmente por derivación sencilla, teniendo en cuenta las alturas máxima y mínima del agua.

El embalse ó envase en los lagos se hace con objeto de almacenar agua en ellos en la época de lluvias para emplearlas en los estiajes. Se construye una presa con compuertas en el canal emisario y se deja salir la cantidad de agua que se crea necesaria. Así se retienen las aguas en el invierno y se las deja correr en el verano. Esto tiene grandes ventajas en los lagos extensos. Recientemente se ha hecho el embalse en el lago de Orta y ahora se ha concedido el del lago Mayor.

Desecaciones.—Las desecaciones se hacen de dos modos: á cielo abierto ó por trabajos subterráneos. Las primeras se efectúan abriendo canales capaces de dar salida á todo el caudal de agua. Las segundas, construyendo una galería ó colector dirigido á la parte más baja del lago, y después, á diversas alturas, varios pozos ó galerías secundarias, ó bien varias galerías ó colectores para desaguar el lago en períodos. La desecación del lago Fucino costó más de treinta millones y ha dado excelentes resultados,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

aunque en la zona desecada no vegeta más que el olivo. Este hecho ha impedido se realicen otras desecaciones. En la práctica ofrecen enormes é innumerables dificultades.

28. *Mares.*—El mar es el gran almacén de agua, y de él se distribuye á todos los puntos de la tierra, transformándose en vapor, elevándose en la atmósfera y atravesando llanuras y montes. Las aguas del mar pueden considerarse como minerales. La superficie de la tierra está con la del mar en la relación de $\frac{1}{2{,}76}$.

El agua del mar es salada y más pesada que la de los ríos.

La del O. Atlántico contiene	3,577 %	de sales y pesa	1.026 kg.	por lit.
» » Pacífico	»	4,473 »	»	1,026 »	»
» » Índico	»	4.473 »	»	1,026 »	»
» mar Mediterráneo	»	4.074 »	»	1,029 »	»
» » del Norte	»	3,187 »	»	1,026 »	»
» » Báltico	»	1,709 »	»	1,008 »	»
» » Rojo	»	4,500 »	»	1,028 »	»

La temperatura máxima del agua en los mares polares es de 3° centígrados, en la superficie; en los templados, de 12°; en los cálidos, de 32°. En el Mediterráneo, de 13° á 18°. A la profundidad de unos 1.140 metros, se tiene para todos los mares una temperatura constante de 4° centígrados; á profundidades mayores se han observado temperaturas de $2° \div 0°$. (Para los movimientos del mar véase el párrafo correspondiente.)

La navegación es uno de los medios más económicos de transporte; por eso se prefieren estas comunicaciones á las terrestres. De aquí la cortadura de istmos, la construcción de canales navegables para unir diversos mares, la construcción de puertos en los ríos, etc. Los canales se distinguen en canales de agua dulce y salada.

Las derivaciones para salinas ó depósitos se hacen directamente; á lo sumo se pone un dique que defienda la toma de los aterramientos, si existen ríos ó corrientes próximas capaces de producirlos.

29. *Corrientes subterráneas y manantiales.*—Las aguas de lluvias, las nieves y hielos fundidos, corren en parte sobre la superficie de la tierra; en parte se filtran al interior del suelo, de donde, al cabo de algún tiempo, salen, recibiendo el nombre de manantiales. Como uno de los mejores ejemplos de la formación de manantiales, presentamos la sección hipotética de Daubrée

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

(V. Spataro, tomo II, pág. 199), en la que se ve cómo los *Emposieux* (fig. 5), del valle de Ponti, parece dan origen á los manantiales de la Noiragne (Neufchâtel); las iniciales represen-

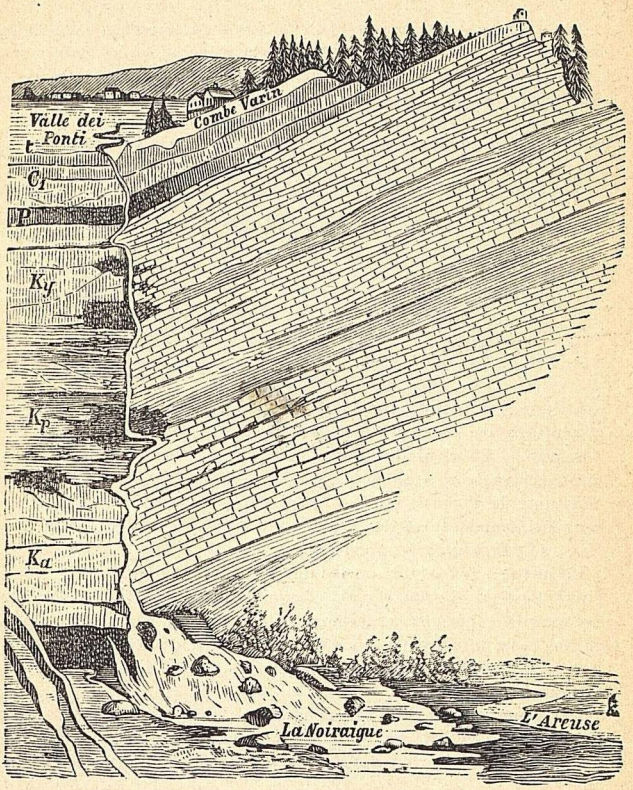


Fig. 5.

tan: K_a, calizas; K_p, caliza pteroceniense; K_y, caliza virguliense; *P*, pubek; *C*, neocomiense; *t*, turberas.

Otro ejemplo de manantiales es cuando se presentan pequeños conductos (fig. 6) que atraviesan una capa impermeable que permite á las aguas reunirse en una capa subterránea que pasa sobre

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

otra capa impermeable. Así puede resultar que un manantial tenga un gasto mayor que el que daría la cuenca.

Otras veces los manantiales se presentan á manera de pozos, saliendo el agua verticalmente ó tomando un nivel constante (fig. 7.)

Manantiales intermitentes—Entre los casos dignos de mención figuran los manantiales ó fuentes intermitentes. Se explican (figura 8) suponiendo un sifón que parte de un recipiente natural. Empieza á funcionar cuando el nivel del agua alcanza el vértice del sifón, y cesa cuando se vacía el depósito para volver á verter en cuanto se llena otra vez.

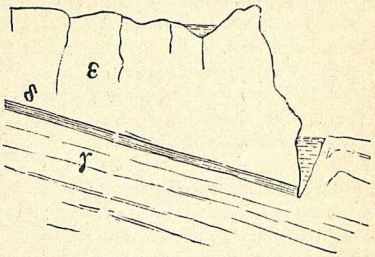


Fig. 6.

Gasto de los manantiales —El gasto de los manantiales es muy variable. A veces tienen un máximo y un mínimo. Otras se anulan en los estiajes; en general, no son constantes. Los manantiales de los Apeninos tienen el máximo estiaje en Septiembre, antes de las lluvias otoñales, y el máximo gasto en Marzo y Abril. En los de los Alpes, el estiaje es en Enero y el máximo en Julio y Agosto, variando el gasto hasta en el mismo día en muchos casos.

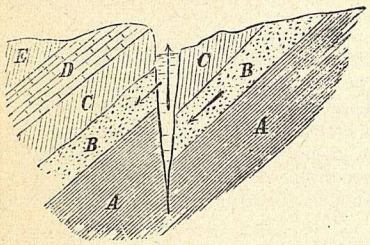


Fig. 7.

Para dar una idea de la permeabilidad del suelo insertamos la escala de Thurmam, aceptada por muchos.

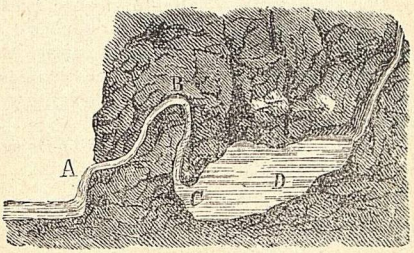


Fig. 8

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Subsuelo permeable.

Rocas volcánicas (deyecciones)	muy permeables.
Calizas descompuestas (hendidas)	» »
Cantos rodados ligeros	» »
Arena y grava mezclada	» »
Arena pura fina permeable	» »
Arena arcillosa	poco permeable.
Margas y calizas margosas	» »

Subsuelo impermeable.

Esquistos arcilloso-calizos	impermeable.
Pudingas en masas	»
Molasa y maciño	»
Arenisca cuarzosa (sin grietas)	»
Esquisto micáceo	»
Granito y gneiss (no alterado)	muy impermeable.
Esquistos arcillosos en masas	» »
Arcillas y margas arcillosas	» »

Las tomas de aguas de las corrientes subterráneas ó manantiales se hacen por medio de pozos, depósitos (arcas), galerías ó minas, cuyas dimensiones dependen del gasto, de la distancia á que se encuentran los manantiales, etc.

30. *Grandes capas acuíferas subterráneas.*—Ya se ha dicho que parte del agua de lluvia se filtra en el suelo.

Como resultado de numerosos experimentos, se deduce que aproximadamente el 28 por 100 del agua que cae se filtra en el terreno. Las llanuras, que en gran parte están constituídas por terreno de aluvión, tienen generalmente en el subsuelo una gran capa de grava muy permeable, en la que permanece y se mueve el agua.

El agua del subsuelo de las llanuras generalmente es muy buena y puede clasificarse entre las potables; pero donde hay mucha densidad de población y gran desarrollo en la agricultura y la industria, estas aguas se alteran y deben proscribirse como potables. A veces la capas acuíferas están casi á flor de tierra. El agua de estas capas está sujeta á variaciones, y su nivel sube ó baja, según las lluvias. Algunas veces proceden de capas superiores y á causa de la carga tienden á salir, y se llaman entonces *aguas artesianas*.

La extracción de las aguas subterráneas se hace por medio de pozos ordinarios,
pozos Northon,
fontanillas,
pozos artesianos,
y por galerías filtrantes.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ 2.—Nociones y fórmulas principales de hidrostática.

31. *Presión interna.*—Todos los cuerpos están constituídos por un conjunto de moléculas que permanecen unidas en virtud de la fuerza de *atracción molecular* ó *cohesión.*

Se llama *flúido* al cuerpo que tiene la propiedad de ceder al menor esfuerzo, deformándose y tomando la forma del recipiente que lo contiene. Se dice *flúido perfecto* al que no ofrece resistencia alguna á la deformación.

El agua es un flúido; pero no un flúido perfecto. Cuando un cuerpo cualquiera se deforma bajo la acción de fuerzas exteriores, la reacción producida por las moléculas del mismo, se llama *presión interna.*

Siendo $d\,P$ la presión interna sobre un elemento superficial $d\,\omega$ de un cuerpo, la presión interna unitaria será:

$$p = \frac{d\,P}{d\,\omega}.$$

La p en general resulta oblicua al plano del elemento superficial $d\,\omega$, y da lugar á dos componentes, una normal y otra tangencial al mismo elemento.

Se dice que un cuerpo es *isótropo* cuando alrededor de cada punto existe la misma agregación molecular. En él son nulas las presiones tangenciales, y la presión unitaria interna es constante alrededor de cada punto (principio de Pascal). El agua en movimiento no es un cuerpo isótropo; en ella se desarrollan rozamientos internos ó presiones tangenciales.

32. *Condiciones de equilibrio de un líquido:*

$$\begin{cases} \dfrac{d\,p}{d\,x} = \rho\,X \\ \dfrac{d\,p}{d\,y} = \rho\,Y \\ \dfrac{d\,p}{d\,z} = \rho\,Z \end{cases}$$

$$d\,p = \rho(X\,d\,x + Y\,d\,y + Z\,d\,z)$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\,(\rho\,X)}{\partial\,y} = \dfrac{\partial\,(\rho\,Y)}{\partial\,x} \\ \dfrac{\partial\,(\rho\,Y)}{\partial\,z} = \dfrac{\partial\,(\rho\,Z)}{\partial\,y} \\ \dfrac{\partial\,(\rho\,Z)}{\partial\,x} = \dfrac{\partial\,(\rho\,X)}{\partial\,z} \end{cases}$$

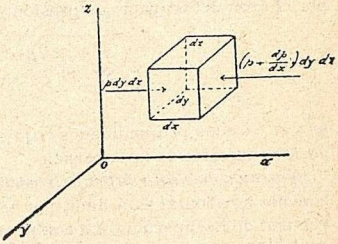


Fig. 9.

X, Y, Z componentes de las fuerzas exteriores según los ejes; ρ = densidad.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

33. *Superficie de nivel.*—Es el lugar de todos los puntos de igual presión p:

$$dp = X\,dx + Y\,dy + Z\,dz.$$

34. *Presión unitaria.*—En un punto de un líquido pesado, á la profundidad z del nivel superior, está dada por

$$p = \overline{\omega}\, z.$$

$\overline{\omega}$ = peso específico del agua.

35. *Diagrama de las presiones.*—Dada una superficie plana cualquiera sumergida en un líquido pesado, el *diagrama de las presiones* representa la ley de variación de las presiones en los diversos puntos de una sección vertical, normal á la superficie. El área del diagrama de las presiones, multiplicado por el peso específico del líquido, representa la presión sobre un metro de la superficie que se considera.

Presión sobre una superficie rectangular vertical.—Está dada por el peso específico $\overline{\omega}$ del líquido multiplicado por el área del *triángulo de presión*:

$$S = \overline{\omega}\,\frac{h^2}{2};$$

h = profundidad bajo el nivel del agua del lado horizontal inferior de la superficie. Si la superficie está completamente sumergida, la presión está dada por el peso específico del líquido, multiplicado por el área del trapecio de presión:

$$S = \overline{\omega}\,\frac{h''^2 - h'^2}{2};$$

h'' y h' = á las profundidades bajo el nivel del lado horizontal superior é inferior de la superficie.

Presión sobre una superficie rectangular inclinada.—La componente horizontal está dada por la presión sobre la proyección vertical de la superficie. La componente vertical es igual al peso del líquido existente verticalmente sobre la misma superficie.

Presión sobre una superficie de forma cualquiera.—Se descompone en tres, de las cuales dos son horizontales, P_x y P_y, é iguales respectivamente á las presiones ejercidas sobre las dos proyecciones de la superficie dada en los planos $y\,z$ y $x\,z$; la otra

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

P_z, vertical, es igual al peso del volumen del líquido colocado verticalmente sobre la superficie misma:

$$P_x = \int\int \overline{\omega}\, z\, dy\, dz;$$

$$P_y = \int\int \overline{\omega}\, z\, dx\, dz;$$

$$P_z = \int\int \overline{\omega}\, z\, dx\, dy.$$

36. *Centros de presión.* – La profundidad del centro de presión de una pared plana rectangular que tenga dos lados horizontales, es igual á los dos tercios de la relación de las diferencias de los cuadrados de las distancias de los lados horizontales al mismo plano del nivel.

El centro de presión de un trapecio, en que a y b son los lados superior é inferior (paralelos), h la recta que une los puntos medios de dichos lados y m la prolongación de h entre el lado superior y la superficie de nivel, será.

$$X = m + \frac{h}{2}\,\frac{2m(a+2b)+h(a+3b)}{3m(a+b)+h(a+2b)}.$$

Trapecio con el lado superior en la superficie de nivel:

$$X = \frac{h}{2}\,\frac{a+3b}{a+2b}.$$

Paralelógramo sumergido con dos lados á nivel:

$$X = m + \frac{h}{3}\,\frac{3m+2h}{2m+h}.$$

El mismo á nivel

$$X = \frac{2}{3}h.$$

Triángulo con un lado horizontal y el vértice opuesto superiormente, sumergido

$$X = m + \frac{h}{2}\,\frac{4m+3h}{3m+2h}.$$

Vértice á nivel:

$$X = \frac{3}{4}h.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Triángulo con lado horizontal y vértice opuesto, inferiormente sumergido

$$X = m + \frac{h}{2} \cdot \frac{2m + h}{3m + h}.$$

Con el lado á nivel:

$$X = \frac{1}{2} h.$$

Elipse sumergida toda: a = semieje no horizontal; m = distancia de su centro al plano de nivel, medido sobre la recta trazada por el centro, en el plano de la figura, perpendicularmente á su intersección con el plano de nivel, se tiene

$$X = m + \frac{1}{4} \cdot \frac{a^2}{m}.$$

Para la *semielipse* sumergida totalmente:

$$X = \frac{\frac{1}{4} \pi a^2 \left(m^2 + \frac{1}{4} a^2 \right) \mp \frac{2}{3} a^3 m}{\frac{1}{4} \pi a^2 m \mp \frac{1}{3} a^3 m}.$$

Segmento parabólico:

$$X = \frac{1}{4} \cdot \frac{35 m^2 \pm 42 m h + 15 h^2}{5 m \pm 3 h}.$$

Si el vértice está en la superficie de nivel:

$$X = \frac{5}{7} h,$$

siendo m la distancia de su vértice á la superficie de nivel y h la extensión del segmento, contadas ambas á lo largo del eje y en su prolongación.

De una pared rectangular inclinada, un ángulo α con la vertical:

Profundidad z_1 del centro de presión:

$$z_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{h a^3 - h b^3}{h a^2 - h b^2}.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Distancia d del centro de gravedad de las paredes:

$$d = \frac{l^2 \cos \alpha}{12\, h};$$

l = longitud de las paredes normalmente á los lados verticales; h_a, h_b, h = distancias al nivel superior de los lados horizontales, superior é inferior, y del centro de gravedad, respectivamente.

De una superficie cualquiera de generatrices horizontales. – Se halla igualando el momento de la presión total (respecto á un punto cualquiera) con la suma de los momentos de sus componentes s s' respecto al mismo punto; S S' se conocen en intensidad y según su línea de acción, pues están representados por las áreas del diagrama de presión y de la superficie vertical corrrespondiente á la línea proyección vertical de la superficie dada y pasando por los centros de gravedad G G' de las mismas figuras.

§ 3. – Nociones y fórmulas principales de Hidrodinámica.

37. *Ecuaciones indefinidas del movimiento de los flúidos perfectos.* – El movimiento se refiere á tres ejes, X, Y, Z. Sean x y z los coordenados de un punto en el instante t (variable, independiente).

Si $u = \frac{dx}{dt}$, $v = \frac{dy}{dt}$, $w = \frac{dz}{dt}$ son los componentes de la velocidad V, se tendrá que

$$\frac{\partial u}{\partial t} \quad \frac{\partial v}{\partial t} \quad \frac{\partial w}{\partial t}$$

serán las componentes de la aceleración debida á las tres componentes X, Y y Z de la resultante de las fuerzas exteriores aplicadas á la unidad de tiempo. Sea ρ la masa específica del líquido.

De las leyes generales del movimiento se deduce:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \left(X - \frac{\partial u}{\partial t} \right) \qquad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \rho \left(Y - \frac{\partial v}{\partial t} \right) \qquad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \rho \left(Z - \frac{\partial w}{\partial t} \right) \qquad (3)$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pero como para los líquidos se tiene $\rho =$ constante, resulta:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = 0. \qquad (4)$$

38. *Ecuación de continuidad de masa:*

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{d t} = 0.$$

Para $\rho =$ constante, se convierte en

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \qquad (5)$$

Las ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5) forman un sistema determinado entre las cinco incógnitas: x, y, z, ρ y p.

39. *Ecuación del movimiento lineal.* – Sea s el arco de trayectoria recorrido por un punto. Se tiene:

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial s} = \frac{1}{d s}(X d x + Y d y + Z d z) - \frac{\partial V}{\partial t} - v\frac{\partial V}{\partial s}. \qquad (6)$$

La (6), con las (4) y (5), forman un sistema determinado entre las tres incógnitas p, ρ, s.

40. *Definiciones.* – Se llama *movimiento variado* aquel en que V y p son variables con s y t.

Movimiento permanente, aquel en que V y p son variables con s, pero constantes con t, de donde:

$$\frac{\partial V}{d t} = 0.$$

Se dice que el *movimiento es uniforme* cuando V y P son constantes con s y t, es decir

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial s} = 0.$$

En el caso de líquidos pesados la (**6**) se convierte en

$\frac{1}{\rho}\frac{d p}{d s} = g\frac{d z}{d s} - \frac{d V}{d t} - v\frac{d V}{d s}$, para el movimiento *variado;*

$\frac{1}{\rho}\frac{d p}{d s} = g\frac{d z}{d s} - v\frac{d V}{d s}$, » » *permanente;*

$\frac{1}{\rho}\frac{d p}{d s} = g\frac{d z}{d s}$, » » *uniforme.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

41. *Teorema de Bernoulli para un filete con movimiento permanente.*—Se llama *carga estática* la que gravita sobre un elemento del líquido y es igual al peso de un prisma líquido, que tiene por base el elemento dado y por altura la distancia vertical del elemento á la superficie superior del nivel.

Carga piezométrica es la carga estática, disminuída en todas las resistencias exteriores que encuentra el elemento cuando está en movimiento.

De los principios del movimiento permanente se deduce.

$$z - z_0 = \frac{p_1 - p_0}{\tilde{\omega}} + \frac{1}{2g}(V^2 - V_0^2);$$

de donde

$$\frac{p_1}{\tilde{\omega}} = z - z_0 + \frac{p_0}{\tilde{\omega}} - \frac{1}{2g}(v^2 - v_0^2),$$

en la que los términos

$$\frac{V^2}{2g}, \quad \frac{V_0^2}{2g}$$

representan las alturas generatrices de la velocidad, y

$$\frac{v^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} = \left(z - \frac{p_1}{\tilde{\omega}}\right) - \left(z_0 - \frac{p_0}{\tilde{\omega}}\right) = \delta; \qquad (7)$$

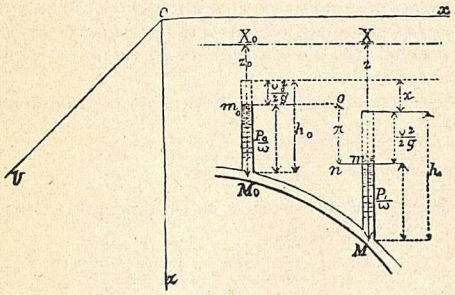


Fig. 10.

expresión que encierra el teorema de Bernoulli, que se enuncia así: *La diferencia de las alturas generatrices de las velocidades en dos puntos M_1 M_0 de un mismo filete líquido, pesado, en*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

movimiento permanente (despreciando las resistencias de rozamiento y cohesión), es igual al desnivel de los extremos de las columnas piezométricas, ó sea igual á la diferencia de nivel $z - z_0$ *de los puntos considerados, disminuida en la diferencia de alturas:*

$$\left(\frac{p_1}{\varpi} - \frac{p_0}{\varpi}\right)$$

á que son debidas las presiones piezométricas sobre los mismos puntos $M_1\ M_0$.

42. *Extensión del teorema de Bernoulli al caso de las corrientes.* — Una corriente está constituída por un conjunto de filetes que tienen diversa velocidad. Para hacer extensiva la (**7**) al caso de las corrientes, se toma una velocidad media $U = \int_{\omega} \frac{V\, d\,\omega}{\omega}$ y se la corrige con un coeficiente α. Se añade después un término debido á las pérdidas por rozamiento y otro debido á las pérdidas por cambios bruscos de sección y de dirección:

$$\delta = \alpha\left(\frac{u^2 + u_0^2}{2\,g}\right) + Y + \Sigma\,\xi; \qquad (8)$$

α = coeficiente debido al rozamiento interno é = 1,111.

La (**8**) es el fundamento de toda la Hidráulica práctica, y se enuncia así:

El desnivel plezométrico entre dos puntos es igual á la diferencia de las columnas debidas á la velocidad, más la altura debida á la pérdida por rozamiento y cambios bruscos de sección y dirección.

Forma del término debido al rozamiento.—Admitiendo

$$F = \frac{f\,\omega\,u^2}{2\,g}$$

como expresión de la resistencia de rozamiento, se tiene

$$Y = \int \frac{F\,c}{\omega\,\omega}\,d\,s = \int \frac{B_1 u^2}{R\,m}\,d\,s;$$

en la que $B_1 = \frac{f}{2\,g}$ = coeficiente de rozamiento exterior.

Forma del término debido á las pérdidas por cambios de sección y de dirección.—Se deduce de la teoría del choque para los

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cuerpos no elásticos que á cada disminución de velocidad corresponde una pérdida de carga. Aplicando el teorema de las cantidades de movimiento: *La cantidad de movimiento es la misma antes y después del choque;* se llega á la expresión:

$$\xi = \frac{(u_0 - u)^2}{2g}.$$

Se deduce entonces la *expresión general del teorema de Bernoulli*:

$$z - z_0 = \delta = \alpha \frac{u^2 - u_0^2}{2g} + \int_{s_0}^{s} \frac{B_1 u^2}{R_m} ds + \mu \Phi \frac{(u_0 - u)^2}{2g} \quad . (9)$$

43. *Casos particulares de pérdidas por cambios de sección.*

a) Ensanche brusco de sección (fig. 11)

$$\varepsilon = \frac{(u_0 - u)^2}{2g}, \quad \text{pero} \quad u_0 a_0 = u a;$$

y suponiendo

$$\frac{a_0}{a} = \mu, \qquad \xi = \frac{u^2}{2g}\left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2,$$

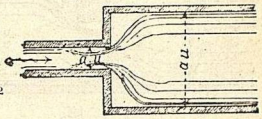


Fig. 11.

de donde la baja total de carga (prescindiendo de los rozamientos)

$$\delta = \frac{u^2 - u_0 u}{g},$$

cantidad negativa si $u_0 > u$ y que demuestra que entonces δ es una elevación de carga.

b) Estrechamiento brusco de sección (fig. 12).—La vena se contrae á la salida hasta una sección a_1 de contracción máxima, siendo u_1 su velocidad, se tiene

$$\xi = \frac{1}{2g}(u_1 - u)^2$$

y suponiendo

$$\frac{a_1}{a} = \gamma,$$

resulta:

$$\xi = \frac{u^2}{2g}\left(\frac{1}{\gamma} - 1\right)^2.$$

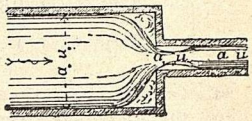


Fig. 12.

Se tiene, pues:

$$\delta = \frac{u^2 - u_0^2}{2g} + \frac{(u_1 - u)^2}{2g} = \frac{2u^2 - u_1^2 - u_0^2 - 2u u_1}{2g}$$

cantidad > 0 cuando $u_1 > u > u_0$.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El coeficiente γ depende del valor $\frac{a_0}{a} = \eta$, y se ha determinado experimentalmente con relación al mismo:

Para $\eta = \frac{a_0}{a} =$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
$\gamma =$	0,59	0,61	0,61	0,64	0,66	0,67	0,70	0,73	0,80
$\left(\frac{1}{\gamma} - 1\right) =$	0,48	0,44	0,41	0,31	0,26	0,24	0,18	0,13	0,06

c) Caso de llaves (fig. 13).—En la sección de máxima contracción a_0 se tiene la velocidad u_0, luego

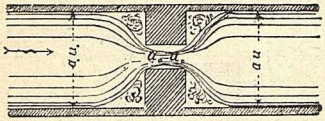


Fig. 13.

$$\xi = \frac{1}{2g}(u_0 - u)^2;$$

pero se tiene

$$a_1 u_1 = a_0 u_0 = a u,$$

de donde, suponiendo

$$\frac{a_1}{a} = \eta; \quad \frac{a_0}{a} = \gamma,$$

resulta:

$$\xi = \frac{u^2}{2g}\left(\frac{1}{\eta\gamma} - 1\right)^2.$$

El valor de γ para este caso se ha determinado también con relación á μ.

Por $\mu =$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
$\gamma =$	0,624	0,632	0,643	0,659	0,681	0,712	0,755	0,813	0,892
$\xi =$	125,90	47,77	17,50	7,80	3,75	1,80	0,80	0,29	0,06

44. *Casos particulares de pérdidas por cambios de dirección:*

a) Codos (fig. 14).—Para los codos, la pérdida de carga está expresada por

$$\Sigma = x \frac{u^2}{2g},$$

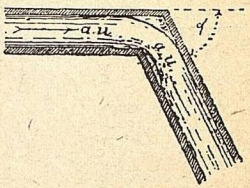


Fig. 14.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

siendo x un coeficiente determinado empíricamente en función del ángulo α. Según Weissbach, es

$$x = 0{,}9457 \operatorname{sen}^2 \frac{\alpha}{2} + 2{,}047 \operatorname{sen}^2 \alpha .$$

b) Vueltas circulares (fig. 15.—En tubos rectangulares de ancho d, se tiene

$$\xi = \left\{ 0{,}124 + 3{,}104 \left(\frac{d}{2\rho} \right)^{\frac{7}{2}} \right\} \frac{u^2}{2g}$$

siendo ρ el radio de curvatura.

En los tubos circulares de diámetro d, se tiene:

$$\xi = \left\{ 0{,}131 + 1{,}847 \left(\frac{d}{2\rho} \right)^{\frac{7}{2}} \right\} \frac{u^2}{2g} .$$

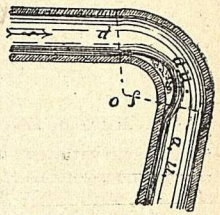


Fig. 15.

Fórmula de Navier, para este caso, en función del desarrollo L del arco,

$$\xi = \left\{ 0{,}0030 + 0{,}015865 \frac{L}{\rho^2} \right\} \frac{u^2}{2g} .$$

§ 4.—Nociones y tablas relativas á la foronomía.

45. *Fenómenos que acompañan la salida por orificios.*—La *foronomía* estudia las leyes según las que el agua sale de un modo continuo por aberturas practicadas en las paredes de los recipientes.

En esa salida son característicos los fenómenos siguientes:

a) Contracción de la vena.—El conoide que se forma á la salida se llama *garganta, estrechamiento* ó *catarata*. Para los orificios circulares de diámetro D, la sección de contracción máxima *(a' b')* se halla á una distancia de la inicial de salida *a b*, de $\sim \frac{D}{2}$ y su diámetro es $\sim 0{,}8\, D$ (fig. 16).

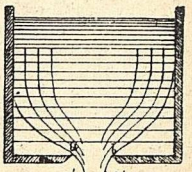


Fig. 16.

El diámetro D_x de la vena contraída, á una distancia x de la sección inicial se cal-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cula por medio de la fórmula:

$$D_x = \frac{1}{\sqrt[4]{2{,}882\,x - 1}}.$$

que da los valores siguientes:

x =	-0.347	-0.30	-0.20	-0.10	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
D_x =	∞	1.435	1.239	1.088	1.00	0.939	0.752	0.835	0.825	0.80

Si D_x dista x de la sección inicial y D_{x_1} dista x_1, llamando ρ al radio de curvatura de un elemento $(x_1 - x)$ y φ la aceleración entre las dos secciones consideradas, y se admite que hay equilibrio entre φ y la fuerza centrífuga $\frac{M\,V^2}{\rho}$ resulta $\varphi = \frac{V^2}{\rho}$. Resolviendo las ecuaciones respecto á ρ, se deduce:

$$\rho = \frac{2\,(x_1 - x)}{\left(\frac{D_x^4}{D_{x_1}^4} - 1\right)}.$$

Calculando el denominador por la tabla precedente se obtiene la que sigue, en la cual está perfectamente determinada la vena líquida, siendo D el diámetro de la sección inicial:

x_1	x	ρ	x_1	x	ρ
—	-0.347	∞	0.10	0.00	$0.69\ D$
-0.30	-0.20	$0.45\ D$	0.20	0.10	$0.88\ D$
-0.20	-0.10	$0.37\ D$	0.30	0.20	$1.11\ D$
-0.10	0.00^8	$0.69\ D$	0.40	0.30	$1.23\ D$
-0.00	0.00	$0.69\ D$	0.50	0.40	$1.53\ D$

b) *Inversión de la vena.*—En algunos casos especiales la vena contraída toma formas especiales (estrellada, radiante, etc.), y entonces se dice tiene lugar el fenómeno de *inversión de la vena.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

c) Discontinuidad de la vena.—Por la resistencia del aire y por la acción de la gravedad, la vena líquida de la salida tiende á transformarse en lluvia.

d) Aspecto parabólico de la vena.—En los orificios verticales practicados en las paredes la vena tiene una forma parabólica en el eje del conoide.

e) Variaciones de la presión, de la velocidad y del gasto de la vena.

46. *Clasificación de los orificios*:

a) Respecto al nivel del agua, aguas arriba, se tiene:

Orificios con carga y con vertedero, según que el nivel del agua arriba está más alto ó más bajo que el borde superior del orificio.

b) Respecto al nivel de aguas, aguas abajo:

Orificios libres ó sumergidos, según que el nivel de aguas abajo es inferior ó superior al umbral ó borde inferior del orificio.

c) Respecto al espesor de las paredes del orificio, se tiene:

Orificios en *pared delgada* y en *pared gruesa*, según sea la pared todo lo delgada prácticamente realizable ó tenga un cierto espesor no despreciable.

d) Se llaman *tubos adicionales* los orificios á que está aplicado un tubo de cierta longitud.

e) Respecto á la relación del orificio con la pared en que está practicado.

Orificios con contracción completa, parcial ó sin contracción, según que ninguna parte del perímetro del orificio ó una parte ó toda coincida con los límites de las paredes del depósito.

f) Respecto de las condiciones del depósito, hay:

Orificios de nivel constante y de nivel variable, con velocidades de llegada y con velocidades de la corriente remansante, ó con una de ellas ó con ambas despreciables.

47. *Orificios con nivel constante.*—La fórmula general que da el gasto es:

$$Q = \mu\, \omega \sqrt{2\, g\, H}$$

ω = área del orificio.

μ = coeficiente de salida.

H = altura de la carga de agua sobre el orificio.

Todos los casos particulares referentes á los diversos orificios varían para el valor de μ (que está dado por tablas y por el significado de H, que varía según los casos).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

48. *Orificios en pared delgada sobre el fondo* (fig. 16).— $\mu = \infty$ 0,60; $H =$ altura del nivel superior del agua en el recipiente, sobre el centro de gravedad del orificio.

49. *Orificios en pared delgada sobre el fondo, con paredes inclinadas* (figuras 17 y 18).—Si δ es el ángulo que forman las paredes con la vertical, se toma un coeficiente μ_δ, dado por la siguiente fórmula:

$$\mu_\delta = 0{,}6385 + 0{,}21207 \cos^3 \delta + 0{,}10645 \cos^4 \delta.$$

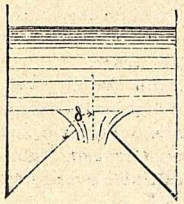


Fig. 17.

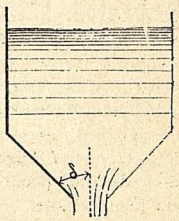


Fig. 18.

50. *Orificios laterales con carga, libre, en pared delgada y contracción completa* (fig. 19).—$H =$ carga sobre el centro de gravedad del orificio.

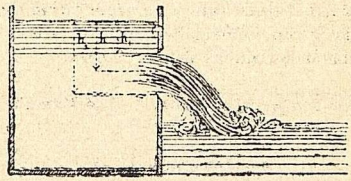


Fig. 19.

Con la velocidad de llegada U_0; $Q = \mu\, \omega \sqrt{2\,g \left(H + \frac{u_2^2}{2\,g} \right)}$.

Sin velocidad de llegada ($U_0 = 0$); $Q = \mu\, \omega \sqrt{2\,g\,H}$.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla VI.—Valores del coeficiente de salida μ para orificios de forma cuadrada en pared delgada (Hamilton Smith).

Carga sobre el centro del orificio	LADO DEL CUADRADO					
	0m,006	0m,015	0m,03	0m,06	0m,18	0m,30
m.						
0,12	—	0,637	0,621	—	—	—
0,15	—	0,633	0,619	0,605	0,597	—
0,18	0,660	0,630	0,617	0,605	0,598	—
0,21	0,656	0,628	0,616	0,605	0,599	0,596
0,24	0,652	0,625	0,615	0,605	0,600	0,597
0,27	0,650	0,623	0,614	0,605	0,601	0,598
0,30	0,648	0,622	0,613	0,605	0,601	0,599
0,40	0,642	0,618	0,610	0,605	0,602	0,601
0,60	0,637	0,615	0,608	0,605	0,604	0,602
0,90	0,632	0,612	0,607	0,605	0,604	0,603
1,20	0,628	0,610	0,606	0,605	0,603	0,602
1,80	0,623	0,609	0,605	0,604	0,603	0,602
2,40	0,619	0,608	0 605	0,604	0,603	0,602
3,00	0,616	0,606	0,604	0,603	0,602	0,601
6,00	0,606	0,603	0,602	0,602	0,601	0,600
30,00	0,599	0,598	0 598	0,598	0,598	0,598

Tabla VI b. – Valores del coeficiente de salida μ para orificios de forma circular en pared delgada vertical (Hamilton Smith).

Carga sobre el centro del orificio.	DIÁMETRO					
	0m,006	0m,015	0m,03	0m,05	0m,18	0m,30
m.						
0,12	—	0,631	0,618	—	—	—
0,15	—	0,627	0,615	0,600	0,592	—
0,18	0,655	0,624	0,613	0,601	0,593	0,590
0,21	0,651	0,622	0,611	0,601	0,594	0,590
0,24	0,648	0,620	0,610	0,601	0,594	0,591
0,27	0,646	0,618	0,609	0,601	0,595	0,591
0,30	0,644	0,617	0,608	0,600	0,595	0,591
0,40	0,638	0,613	0,605	0,600	0,596	0,593
0,60	0,632	0,610	0,604	0,599	0,597	0,595
0,90	0,627	0,606	0,603	0,599	0,597	0,597
1,20	0,623	0,605	0,602	0,599	0,598	0,596
1,80	0,618	0,604	0,600	0,598	0,597	0,596
2,40	0,614	0,603	0,600	0,598	0,596	0,595
3,00	0,611	0,601	0,598	0,597	0,596	0,595
6,00	0,601	0,598	0,596	0,596	0,596	0,594
30,00	0,593	0,592	0,592	0,592	0,592	0,592

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla VII. – Valores del coeficiente μ para orificios de forma rectangular vertical en pared delgada (Poncelet y Lesbros).

Carga medida donde el agua está tranquila.	ORIFICIOS DE 0,70 M. DE ANCHO Y ALTURA					
	≥ 0,27	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01
m.						
0 005	—	—	—	—	—	0,705
0,010	—	—	0,607	0,630	0,660	0,701
0 015	—	0,593	0,612	0,632	0,660	0,697
0,02	0,572	0,596	0,615	0,634	0,659	0,694
0,03	0,578	0,600	0,620	0 638	0,659	0,688
0,04	0,582	0,603	0 623	0,640	0 658	0,683
0,05	0,585	0,605	0,625	0,640	0,658	0,679
0,06	0,587	0,607	0,627	0,640	0,657	0,676
0,07	0 588	0,609	0,628	0,639	0,656	0,673
0,08	0,589	0,610	9,629	0,638	0,656	0,670
0,09	0,591	0,610	0,629	0 637	0,655	0,668
0,10	0,592	0,611	0,630	0,637	0,654	0,666
0,12	0,593	0,612	0,630	0,636	0,653	0,663
0,14	0,595	0 613	0,630	0,635	0,651	0,660
0,16	0,596	0,614	0,631	0,634	0,650	0,658
0,18	0,597	0,615	0,630	0,634	0,649	0,657
0,20	0,598	0,615	0,630	0,633	0,648	0,655
0,25	0,599	0,616	0 630	0,632	0,646	0 653
0,30	0,600	0,616	0,629	0 632	0 644	0,650
0,40	0,602	0,617	0,628	0,631	0,642	0,647
0,50	0,603	0,617	0,628	0,630	0,640	0,644
0,60	0 604	0,617	0,627	0,630	0,638	0,642
0,70	0,604	0,616	0 627	0,629	0,637	0,640
0,80	0,605	0,616	0,627	0,629	0,636	0,637
0,90	0,605	0,615	0,626	0,628	0 634	0,635
1,00	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632
1,10	0 604	0,614	0,625	0,627	0,631	0,629
1,20	0,604	0,614	0,624	0,626	0,628	0,626
1,30	0,603	0 613	0,622	0,624	0,625	0 622
1,40	0,603	0,612	0 621	0 622	0,622	0,618
1,50	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615
1,60	0,602	0,611	0,618	0,618	0,617	0,613
1,70	0,602	0,610	0,617	0,616	0,615	0 612
1,80	0,601	0,609	0,615	0,615	0,614	0,612
1,90	0,601	0,608	0,614	0,613	0,612	0,611
2,00	0,601	0,607	0,613	0,612	0,612	0,611
≥ 3,00	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Cuando la carga se mide directamente sobre el orificio, el coeficiente μ varía como sigue:

Carga medida inmediatamente sobre el orificio.	COEFICIENTE μ PARA ORIFICIOS DE 0,20 METROS DE ANCHO Y ALTURA DE					
	$\geq$ 0,20	0,10	0 05	0,03	0,02	0,01
m.						
0,000	0.619	0,667	0,713	0,766	0,783	0,795
0,005	0 597	0,630	0 668	0,725	0,750	0 778
0,010	0,595	0,618	0,642	0,687	0,720	0,762
0,015	0,594	0 615	0,639	0,674	0,707	0,745
0,020	0,594	0.614	0,638	0,668	0 697	0,729
0,03	0,593	0,613	0,637	0,659	0,685	0,708
0,04	0 593	0,612	0,636	0,654	0,678	0.695
0,05	0,593	0,612	0,636	0,651	0,672	0,686
0.06	0,594	0 613	0,635	0,647	0,668	0,681
0,07	0,594	0,613	0,635	0,645	0,665	0 677
0,08	0.594	0,613	0,635	0,643	0,662	0,675
0,09	0.595	0,614	0,634	0,641	0.659	0,672
0,10	0,595	0.614	0 634	0,640	0,657	0,669
0,12	0.596	0,614	0,633	0,637	0,655	0,665
0,14	0 597	0 614	0,632	0,636	0.653	0,661
0,16	0.597	0,615	0,631	0,635	0,651	0,659
0,18	0,598	0.615	0,631	0.634	0,650	0,657
0,20	0,599	0,615	0,630	0,633	0,649	0,656
0,25	0,600	0,616	0,630	0.632	0 646	0 653
0,30	0 601	0,616	0,629	0,632	0,644	0,651
0.40	0,602	0,617	0,629	0,631	0,642	0.647
0.50	0 603	0,617	0,628	0,630	0.640	0.645
0,60	0,604	0.617	0.627	0,630	0 638	0,643
0.70	0,604	0.616	0,627	0,629	0,637	0,640
0,80	0,605	0,616	0,627	0,629	0,636	0,637
0,90	0,605	0,615	0,626	0,628	0,634	0,635
1,00	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632
1,10	0,604	0,614	0,625	0,627	0,631	0,629
1,20	0,604	0,614	0,624	0,626	0,628	0,626
1,30	0,603	0,613	0,622	0.624	0,625	0,622
1,40	0,603	0.612	0 621	0,622	0,622	0,618
1,50	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615
1,60	0 602	0 611	0,618	0 618	0,617	0,613
1.70	0,602	0,610	0,617	0,616	0,615	0,612
1,80	0 601	0,609	0,615	0,615	0,614	0,612
1,90	0,681	0 608	0,614	0,613	0 613	0,611
2,00	0,601	0,607	0,614	0.612	0,612	0,611
$\geq$ 3,00	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla VIII. – Gasto en los orificios de 1 m. de ancho con carga $\mu = 0{,}60$.

Altura del orificio en metros.	GASTO EN LITROS POR 1'' PARA CARGAS EN EL CENTRO DEL ORIFICIO, DE METROS																			
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,10	1,20	1.30
0,06	71	79	87	95	101	107	113	118	124	129	133	138	143	147	151	155	159	167	175	182
07	83	93	102	111	118	125	132	138	144	150	155	161	167	171	176	181	185	195	204	212
08	95	106	116	126	134	143	151	158	165	172	177	184	191	196	201	207	212	223	233	242
09	107	119	131	142	151	161	170	177	185	193	199	200	215	220	226	233	239	251	262	273
10	119	132	146	157	168	178	188	197	206	214	222	230	238	245	252	259	266	279	291	303
0,11	131	146	160	173	185	196	207	217	226	235	244	253	262	269	277	235	292	307	320	333
12	143	159	175	189	202	214	226	237	247	256	266	276	286	294	302	311	318	335	349	363
13	155	172	189	204	219	232	245	256	267	278	288	299	310	318	327	337	345	363	378	394
14	166	185	204	220	236	250	264	276	288	299	310	322	334	343	352	363	372	391	407	424
15	178	198	218	235	253	267	282	296	308	320	333	345	357	367	378	388	399	418	437	454
0,16	190	212	233	251	270	285	301	315	329	342	355	368	381	392	403	414	425	446	486	485
17	202	225	247	267	286	303	320	335	349	363	377	391	405	416	428	440	451	474	495	515
18	214	238	262	282	303	321	339	355	370	385	399	414	429	441	453	466	478	502	524	545
19	226	252	277	298	320	339	358	374	391	406	422	437	452	465	478	493	505	530	553	575
20	238	265	291	314	336	356	376	394	412	428	445	460	475	490	504	518	531	557	582	606
0,22	262	292	320	346	370	392	414	434	453	471	489	506	523	539	554	570	584	613	640	666
24	285	318	349	377	404	428	451	473	494	514	534	552	570	588	605	622	637	669	698	727
26	309	345	378	409	437	464	489	513	535	557	578	598	618	637	655	673	690	725	756	787
28	333	371	407	441	471	500	526	552	576	600	623	644	666	686	706	725	743	781	814	848
30	357	399	437	472	504	535	564	591	618	642	667	690	713	735	756	777	797	836	873	909
0,32	381	425	466	503	538	571	602	631	659	685	711	736	761	784	806	829	850	892	931	969
34	404	452	495	534	572	607	639	670	700	728	756	782	808	833	857	881	903	948	989	1030
36	428	478	524	566	605	643	677	710	741	771	800	828	856	882	907	932	956	1004	1047	1090
38	452	505	553	597	639	677	714	749	782	814	845	874	903	931	957	984	1009	1060	1105	1151
40	476	532	582	628	672	713	752	788	824	857	889	920	951	980	1008	1036	1063	1115	1164	1212
0,42	—	558	612	660	706	749	790	828	865	900	933	967	999	1029	1058	1088	1116	1171	1223	1272
44	—	585	641	691	740	785	827	867	906	943	978	1013	1046	1078	1109	1140	1169	1227	1281	1333
46	—	611	670	723	773	821	865	907	947	986	1022	1059	1094	1127	1159	1191	1222	1283	1339	1393
48	—	638	699	754	807	856	902	946	988	1029	1067	1105	1141	1176	1210	1243	1275	1339	1397	1454
50	—	664	728	786	840	891	940	985	1029	1071	1112	1151	1188	1225	1261	1295	1329	1394	1456	1515

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Como término medio puede admitirse:

Orificios de sección cuadrada de $0^m,30$ de lado. . . . . $\mu = 0{,}606$

Idem de íd. rectangular de $0^m,10 \times 0^m,80$. . . . . $\mu = 0{,}628$

Idem de íd. circular de diámetro $D = 0^m,20$. . . . . $\mu = 0{,}598$

51. *Orificios como antes, contracción incompleta.*—Cuando la contracción es incompleta se sustituye el coeficiente μ de contracción completa por otro coeficiente μ_1 dado por las fórmulas:

para orificios circulares. . . . $\mu_1 = \mu\,(1 + 0{,}155\,\eta)$

ídem íd. rectangulares. . . . . $\mu_1 = \mu\,(1 + 0{,}13\,\eta)$,

η = relación entre la parte de perímetro donde no hay contracción con el perímetro entero.

52. *Orificio como en el número 50, sumergido.*

u_0 = velocidad de llegada, u_1 = velocidad remanente.

$$Q = \mu\,\omega \left\{ u_1 + \sqrt{2g\left(H - h + \frac{u_0^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g}\right)} \right\}$$

para $u_1 = 0$ $$Q = \mu\,\omega \sqrt{2g\left(H - h + \frac{u_0^2}{2g}\right)}$$

(11) $$u_1 = u_0 = 0, \quad Q = \mu\,\omega \sqrt{2g\,(H - h)}\,.$$

Tabla IX.—Valores del coeficiente μ para orificios sumergidos (Lesbros).

Coeficiente μ para orificios de 0 20 m. de ancho y altura de					
Carga medida sobre el orificio.	0,20	0,10	0,05	0,03	0,01
m.					
0,01	0,500	0,514	0,481	0,509	0,578
0,02	0,502	0,522	0,508	0,548	0,614
0,03	0,508	0,528	0,543	0,583	0,640
0,04	0,515	0,538	0,570	0,620	0,659
0,05	0,520	0,552	0,589	0,639	0,668
0,06	0,526	0,564	0,603	0,640	0,673
0,07	0,531	0,573	0,613	0,639	0,675
0,08	0,536	0,580	0,621	0,639	0,675
0,09	0,541	0,584	0,625	0,638	0,674
0,10	0,545	0,588	0,628	0,637	0,673
0,15	0,562	0,600	0,631	0,634	0,608
0,20	0,575	0,607	0,638	0,632	0,665
0,30	0,592	0,613	0,630	0,631	0,658
0,50	0,600	0,615	0,625	0,629	0,648
0,80	0,602	0,615	0,624	0,627	0,637
1,00	0,602	0,614	0,624	0,625	0,636
1,20	0,602	0,614	0,623	0,623	0,625
1,40	0,601	0,613	0,621	0,621	0,620
1,60	0,601	0,611	0,618	0,619	0,617
1,80	0,601	0,609	0,616	0,616	0,614
2,00	0,601	0,607	0,614	0,614	0,613
3,00	0,601	0,603	0,606	0,607	0,609

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

53. *Tabla X.* —Valores de μ para orificios con carga, rectangulares, con

Carga medida inmediatamente sobre el orificio.	Contracci						
	Sobre el fondo para alturas de			Sobre uno de los lados verticales para alturas de			Sobre dos pa
	0,20	0,10	0,01	0,20	0,05	0,01	0,20
0,01	0,627	0,671	0,824	0,617	0,658	0,718	0,673
0,02	0,621	0,653	0,773	0,608	0,651	0,705	0,657
0,03	0,518	0,649	0'758	0,603	0,648	0,697	0,648
0,04	0,617	0,647	0,749	0,607	0,645	0,691	0,643
0,05	0,616	0,646	0,742	0,600	0,643	0,687	0,641
0,06	0,616	0,646	0,736	0,600	0,642	0,683	0,640
0,07	0,616	0,646	0,732	0,600	0,641	0,680	0,639
0,08	0.617	0,647	0,729	0,600	0,640	0,677	0,639
0'09	0,617	0,647	0,726	0,600	0,639	0,675	0,639
0,10	0,618	0,648	0,724	0,601	0,638	0,673	9,639
0,12	0,619	0,648	0,720	0,602	0,637	0,670	0,639
0,14	0,620	0,649	0,718	0,602	0,636	0,667	0,640
0,16	0,621	0,649	0,716	0,603	0,636	0,665	0,640
0,18	0,622	0,649	0,714	0,604	0,635	0,663	0,640
0,20	0,622	0,649	0,713	0,605	0 634	0,661	0,640
0,25	0,623	0,649	0,711	0,607	0,634	0,658	0,639
0,30	0,623	0,649	0,709	0,608	0,633	0,655	0,637
0.40	0,623	0 648	0,706	0,609	0,633	0,642	0,635
0,50	0,624	0,648	0,705	0,610	0,633	0,649	0,633
0,60	0,624	0,648	0,703	0,610	0,632	0,645	0,632
0,70	0,624	0,648	0,702	0,610	0,632	0,642	0,631
0,80	0,624	0,648	0,701	0,611	0,631	0,638	0,631
0,90	0,624	0,647	0,701	0,611	0,629	0,634	0,630
1,00	0,624	0,647	0,701	0,611	0,628	0,631	0,630
1,10	0,024	0,647	0,700	0,611	0,626	0,629	0,630
1,20	0,625	0,646	0,700	0,610	0,625	0,627	0 629
1,30	0.625	0,645	0,699	0,610	0,624	0,626	0,629
1,40	0,625	0,644	0,699	0,610	0,622	0,624	0,629
1,50	0,624	0,644	0,698	0,610	0,621	0,623	0,628
1,60	0,623	0,643	0 697	0,610	0,620	0,622	0,628
1,70	0,621	0,643	0,695	0'610	0,619	0,621	0,627
1,80	0,620	0,642	0 694	0,610	0,618	0,620	0,627
1,90	0,619	0 641	0,693	0,609	0,618	0,619	0,627
2,00	0,619	0,641	0,693	0,609	0,617	0,618	0,626
3,00	0,615	0,636	0,688	0,607	0,611	0,613	0,623

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ontracción incompleta.—Sirven las fórmulas del núm. 51.

ón suprimida

lados verticales ra alturas de		Sobre el fondo y sobre uno de los lados para alturas de			Sobre el fondo y sobre los dos lados para alturas de		
0,10	0,01	0.20	0,10	0,01	0 20	0,10	0,01
0,678	0,781	0,700	0,701	0 806	1,005	0,910	0,902
0,663	0,757	0.683	0,678	0,764	0,963	0,839	0,792
0,657	0,745	0,666	0,671	0,750	0,923	0,791	0,756
0,654	0,736	0.655	0,667	0,741	0,884	0,762	0,743
0,652	0,729	0,648	0 665	0,735	0,848	0,743	0,735
0,651	0,724	0,643	0,664	0,731	0,813	0,730	0,731
0,650	0,720	0 641	0,663	0,727	0,784	0,721	0.727
0,649	0,716	0,639	0,662	0,725	0,762	0,715	0,725
0,648	0,713	0,638	0,662	0,723	0,743	0,711	0,723
0,647	0,710	0,637	0,661	0,721	0.730	0,707	0,721
0,645	0,704	0,637	0,661	0.718	0,711	0,701	0,718
0,644	0,700	0,637	0,660	0,716	0,700	0,698	0,716
0,643	0,695	0,637	0,660	0,714	0,695	0.695	0,714
0,642	0,692	0,637	0,660	0,712	0,692	0,693	0,712
0,641	0,689	0,637	0,659	0,711	0,690	0,691	0,711
0,643	0,685	0,637	0,659	0,709	0,687	0,689	0,709
0,637	0,679	0,637	0,658	0,707	0,683	0,680	0,707
0,635	0,674	0,637	0,658	0,705	0,678	0.679	0,704
0,633	0,670	0,637	0,657	0,704	0,675	0,678	0.702
0,632	0,668	0,637	0,657	0,703	0,673	0,677	0,702
0,632	0,666	0,637	0,656	0,703	0,671	0,676	0,702
0,631	0,665	0,637	0,656	0,703	0,670	0,676	0,701
0,631	0,664	0,637	0,656	0,702	0.669	0,675	0,701
0,631	0,663	0,637	0,656	0.702	0,668	0,674	0,701
0,630	0,661	0,637	0,655	0,700	0,666	0,674	0,701
0,630	0,660	0,637	0,655	0,700	0,666	0,673	0,701
0,630	0,659	0,637	0 655	0,690	0,665	0,672	0,701
0,630	0,658	0,637	0,655	0,688	0,664	0,672	0,701
0,630	0,657	0,637	0,654	0,697	0 663	0,671	0,702
0,630	0,655	0,637	0 654	0,696	0,662	0,671	0,702
0,630	0.654	0,637	0,654	0,696	0,662	0,670	0,703
0,630	0,653	0,637	0,653	0,695	0 662	0,670	0,703
0,630	0,652	0,636	0,653	0'695	0,661	0,669	0,704
0.629	0,651	0,636	0 652	0,694	0 661	0,669	0,704
0,625	0.647	0,633	0,648	0,690	0,658	0,664	0,702

FUNDACIÓN JANELO TURRIANO

La contracción incompleta puede tener lugar por el espesor de las paredes y porque la relación entre las secciones del canal y el orificio se aproxima á la unidad. En este último caso se puede emplear la fórmula de Weisbach: —. $\mu_n = \mu_\alpha$. — en la que n es la relación entre el área del orificio y la de la sección aguas arriba; μ_n el coeficiente buscado; μ el coeficiente de contracción completa y α, dado por la siguiente tabla:

n	α	n	α	n	α
0,05	1,009	0,40	1,107	0.75	1,319
0,10	1,019	0,45	1,128	0,80	1,365
0,15	1,030	0,50	1,152	0,85	1,416
0,20	1,042	0,55	1,178	0,90	1,473
0,25	1,056	0 60	1,208	0,95	1,537
0,30	1,071	0,65	1,241	1,00	1,608
0,35	1,088	0,70	1,278	—	—

54. *Orificios con carga en pared gruesa.* — Para los orificios en paredes gruesas se usan las fórmulas del § 50; respecto al valor de μ, cuando las circunstancias se prestan, se puede admitir que es el dado por la siguiente tabla, resultante de los experimentos de Lesbros, sobre orificios con carga, rectangulares, de $0^m,60$ de luz, y un espesor de $0^m,05$ en los lados y $0^m,10$ en el umbral.

Tabla XI

Carga medida aguas arriba donde el agua está tranquila.	COEFICIENTES de salida para orificios de altura de metros		Carga medida aguas arriba donde el agua está tranquila.	COEFICIENTES de salida para orificios de altura de metros	
	0,40	0,20		0.40	0,20
0,030	—	0,636	0,600	0,650	0,677
0,040	—	0,641	0,700	0,646	0,677
0 050	0,624	0,645	0,800	0,643	0,676
0,060	0,627	0,648	0,900	0,639	0,676
0,070	0,629	0,652	1,000	0,636	0,676
0,080	0,631	0,654	1,100	0,633	0,676
0,090	0,633	0,656	1,200	0,630	0,675
0,100	0,635	0,658	1,300	0 628	0,675
0,120	0,639	0,662	1,400	0,626	0,675
0,140	0,642	0,664	1,500	0,624	0,675
0.160	0,644	0,667	1,600	0,622	0,675
0,180	0,646	0,669	1,700	0,621	0,675
0,200	0,648	0,671	1,800	0,620	0,674
0,300	0,654	0,677	1,900	0,618	0,674
0,400	0,654	0,679	2,000	0,617	0,674
0,500	0,653	0,678	3,000	0,617	0,673

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Orificios en paredes gruesas, con aristas vivas ó redondeadas.—Cuando dos paredes no son delgadas, hay que tener en cuenta si las aristas son *vivas* ó *redondeadas*, por ser grande su influencia sobre el coeficiente de contracción. Con este objeto se insertan en la tabla siguiente los coeficientes obtenidos por Lesbros para orificios con carga, rectangulares de $0^m,20$ de ancho y paredes de un espesor de $0^m,267$.

Tabla XII

Carga medida fuera del tiro de salida.	Aristas vivas. Coeficientes para orificios de altura de m.			Aristas redondeadas. Coeficientes para orificios de m.		
	0,20	0,05	0,01	0,20	0,05	0,01
0,05	—	0,719	0,711	—	0,717	0,729
0,06	—	0,716	0,708	—	0,715	0,726
0,07	—	0,714	0,706	—	0,713	0,723
0,08	—	0,712	0,704	—	0,711	0,721
0,09	—	0,710	0,703	—	0,710	0,719
0,10	—	0,709	0,701	—	0,709	0,717
0,12	—	0,800	0 699	—	0,706	0,714
0,14	—	0,703	0,697	—	0,704	0,711
0,16	0,760	0,700	0,695	0,738	0,703	0,709
0,18	0,732	0,698	0,693	0,722	0,701	0,706
0,20	0,713	0,696	0,692	0,713	0,700	0,704
0,30	0,688	0,689	0,687	0,705	0,697	0,697
0,40	0,684	0,685	0,683	0,703	0,695	0,694
0,50	0,682	0,682	0,681	0,702	0,695	0,693
0,60	0,682	0,681	0,780	0,701	0,694	0,693
0,70	0,681	0,680	0,780	0,701	0 694	0,693
0,80	0,681	0 680	0,680	0,700	0,693	0,694
0,90	0,681	0,679	0,680	0,700	0,693	0,695
1,00	0,680	0,679	0,680	0,700	0,692	0,695
1,10	0,680	0,678	0,679	0,699	0,691	0,695
1,20	0,680	0,678	0,679	0,699	0,690	0,694
1,30	0,680	0,678	0,678	0,669	0,690	0,693
1,40	0,679	0,677	0,677	0,699	0,699	0,693
1,50	0,679	0,677	0,677	0,699	0,688	0,692
1,60	0,679	0,677	0,676	0,699	0,687	0,690
1,70	0,679	0,676	0,675	0,698	0,686	0,690
1,80	0,679	0,676	0,674	0,698	0,685	0,689
1,90	0,678	0,675	0,674	0,698	0,685	0,688
2,00	0,678	0,675	0,673	0,698	0,684	0,688
3,00	0,676	0,672	0,670	0,696	0,680	0,684

Orificios con compuerta.—Tienen el umbral y lados de pared gruesa, ordinariamente de $0^m,20$ á $0^m,25$, y el umbral está poco

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

elevado sobre el fondo; el lado ó borde superior puede admitirse como en pared delgada. Sirve la fórmula del § 50; haciendo $\mu = 0{,}675$. Si las aristas son redondeadas, se hará $\mu = 0{,}70$.

Orificios con compuerta inclinada.— Se adopta la fórmula citada antes, pero el coeficiente μ se multiplica por un coeficiente φ de reducción, según el angulo α que el orificio forma con el horizonte.

Angulo α	45°	50°	55°	60°	65°	75°	75°
Coeficiente φ	1,14	1,12	1,10	1,07	1,05	1,03	1,006

Según Castell y Boileau, la proximidad de varios orificios tiene una influencia despreciable sobre el coeficiente de salida.

55. *Orificios en vertedero libre* (fig. 21).

H = altura del vertedero.
h = espesor de la lámina que vierte.

Tiro de salida es el descenso del nivel aguas arriba del orificio.
Contracción inferior es la elevación de la lámina sobre el umbral de la presa.

$$Q = \mu_1 \omega \sqrt{2gh}\,; \qquad \text{en la que} \qquad \mu_1 = \frac{\mu}{\sqrt{2}} = 0{,}40.$$

Los coeficientes propuestos por varios ensayadores difieren mucho entre sí. Para valores de

$$\mu_1 = \frac{2}{3}\mu$$

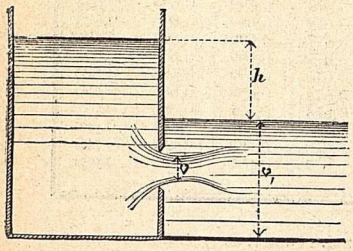


fig. 20.

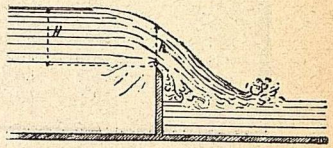


fig. 21.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

se tiene:

Lesbres y Poncelet	de 0,566 ÷ 0,623
Castell y D'Aubuisson	» 0,291 ÷ 0,713
Francis	» 0,623
Morin	» 0,60 ÷ 0.66
Boileau	» 0,592 ÷ 0,66
Bazin	» 0,625 ÷ 0,769
Smeaton y Brindley	» 0,589 ÷ 0,682
Du Buat	» 0,635 ÷ 0,673
Simpson y Blackwell	» 0,56 ÷ 0,74
Parrochetti	» 0,593 ÷ 0,641

Según Turazza, se tiene para μ_1 la siguiente;

Tabla XIII

Carga sobre el umbral.	Ancho del vertedero.				
	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01
0,08	0,394	0,407	0 416	0.435	0,476
0,10	0,399	0,411	0,420	0,435	0,466
0,12	0,399	0,413	0,421	0,435	0,456
0,14	0,400	0,413	0,421	0,434	0,454
0,16	0,400	0,414	0,422	0,434	0'453
0,18	0,401	0,414	0,423	0,434	0,453
0,20	0,401	0,416	0,423	0,434	0,451
0,22	0,401	0,417	0,424	0,434	0,451
0,24	0,402	0,418	0,425	0,434	0,450

D'Aubuisson da el coeficiente de salida, referido á la relación entre el ancho del orificio y el del canal abductor.

Relación entre el orificio y el canal	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25
Coeficiente μ_0	0,443	0,438	0,431	0,423	0,416	0,410	0,405	0,399	0,398

56. *Orificios en vertedero libre con contracción incompleta.*— Se admiten los casos siguientes:

a) Contracción sobre los lados verticales, distantes 0,02 metros de las paredes del recipiente.

b) Contracción suprimida sobre el umbral.

c) Contracción suprimida sobre el umbral y un lado vertical.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

d) Contracción suprimida sobre el umbral y dos lados verticales, distantes como antes.

e) Contracción suprimida sobre un solo lado vertical.

La tabla siguiente da los valores de μ_0 para estos casos:

Tabla XIV

Carga H sobre el umbral del vertedero.	Coeficiente μ_0 para vertederos de 0,20 metros de ancho en los casos				
	a	*b*	*c*	*d*	*e*
0,01	0,457	0,384	0,362	0,292	0,457
0,02	0,444	0,402	0,379	0,318	0,446
0,03	0,435	0,410	0,388	0,337	0,437
0,04	0,429	0,411	0,394	0,252	0,430
0,05	0,426	0,411	0,398	0,362	0,425
0,06	0,424	0,410	0,400	0,370	0,420
0,07	0,422	0,409	0,402	0,375	0,416
0,08	0,421	0,409	0,403	0,379	0,413
0,09	0,421	0,409	0,404	0,380	0,411
0,10	0,420	0,408	0,405	0,382	0,409
0,12	0,420	0,408	0,406	0,383	0,407
0,14	0,422	0,408	0,407	0,383	0,407
0,16	0,424	0,407	0,407	0,384	0,405
0,18	0,424	0,406	0,408	0,383	0,404
0,20	0,424	0,405	0,408	0,383	0,402
0,25	0,422	0,404	0,407	0,381	0,396
0,30	0,418	0,403	0,406	0,378	0,390

57. *Presas.*—Son vertederos con la contracción lateral suprimida.

$$Q = \mu_1 \, \omega \sqrt{2 g H} \, .$$

Expresión teórica de μ_1 (Boussinesq):

$$\mu_1 = 0{,}5216 \left(1 - \frac{\varepsilon}{H} \right)^{\frac{3}{2}}$$

El valor de $\frac{\varepsilon}{H}$ y, por consiguiente, el de μ_1 varía con la inclinación de los paramentos de la presa, según indica la tabla siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XV

	Aguas abajo.				Vertical.	Aguas arriba.		
Inclinación.....	1/2	1/1	3/2	3/1	—	3/1	3/2	1/1
Valores de $\frac{s}{H}$..	0,015	0,041	0,061	0,089	0,112	0,136	0,150	0,159
					0,437	0,415	0,402	0,402

Expresión de μ_1 *(empírica de Bazin).*

$$\mu_1 = \left[0{,}405 + \frac{0{,}003}{H}\right] \qquad \left[1 + 0{,}55\left(\frac{H}{H+p}\right)^2\right]$$

p = altura de la presa.

58. *Formas especiales de los vertederos libres.—Lámina deprimida.*—Se verifica este fenómeno cuando el agua está en contacto con las paredes de aguas arriba y aguas abajo, entonces se forma un espacio enrarecido debajo de la lámina vertiente, y la vena se comprime; el gasto puede aumentar hasta ser 1,08 del correspondiente á la vena libre.

Lámina adherida.—Si el fenómeno anterior se acentúa, la lámina se adhiere completamente al paramento de aguas abajo, y crece el gasto, pudiendo llegar á ser hasta 1,28.

Lámina ahogada ó alargada.— Por la elevación posterior del nivel de aguas abajo, la lámina queda ahogada y va alargándose sin separarse del paramento de la presa. El gasto de 1,28 desciende hasta 1,12.

La fórmula siguiente es aceptable para los tres casos.

$$\mu'_2 = 0{,}46 + 0{,}0075\ \frac{H_1^2}{H_2}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

59. *Vertederos sumergidos* (fig. 22).

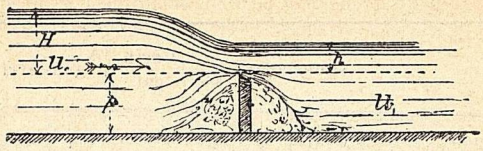


Fig. 22.

$$Q = \mu\, L\, H \left\{ u_1 + \sqrt{2\,g \left(\frac{H}{2} + \frac{h^2}{2\,H} + \frac{u_0^2}{2\,g} - \frac{u_1^2}{2\,g} \right)} \right\}$$

$$\text{para } U_1 = o, \quad Q = \mu\, L\, H \sqrt{2\,g \left(\frac{H}{2} + \frac{h^2}{2\,H} + \frac{U_0^2}{2\,g} \right)}$$

$$\text{para } U_1 = U_0 = o, \quad Q = \mu\, L\, H \sqrt{2\,g \left(\frac{H}{2} + \frac{h^2}{2\,g} \right)}.$$

60. *Vertedero sumergido, contracción incompleta*— Cuando hay contracción incompleta se substituye el coeficiente μ_1 (del caso de contracción completa) por un coeficiente μ_η dado por las fórmulas.

$$\mu_\eta = \mu_1 \left(1 + 1{,}788\, \frac{\rho^4}{C^4} \right) \quad \text{para } \frac{S}{C} \leqq 0{,}50$$

$$\mu_\eta = 0{,}38 + 0{,}069\, \frac{L_S}{L_C} \quad \text{para } \frac{S}{C} > 0{,}50$$

S = sección de orificio-vertedero;
C = sección del canal.
L_S = ancho del vertedero;
L_C = ancho del canal.

61. *Vertederos de diversas formas en pared delgada.—Vertederos triangulares.—J. Thomson*, después de gran número de experimentos, propuso en 1856 un vertedero de forma triangular con el vértice en la parte inferior: el gasto venía expresado por la

$$Q = 0{,}317\, H^{\frac{3}{2}}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tiene la ventaja de presentar una sola variable.

Vertederos de forma trapecial, inclinados y verticales.—Si el vertedero está inclinado sobre el horizonte un ángulo α se tiene:

$$Q = \frac{2}{15}\,\mu\,(3\,b + 2\,B)\,c\sqrt{2\,g\,c\,\text{sen}\,\alpha}$$

siendo b y B las bases del trapecio y c la altura.

Si el vertedero es vertical, se tendrá:

$$Q = \frac{2}{15}\,\mu\,(3\,.\,b + 2\,.\,B)\,a\sqrt{2\,g\,a.}$$

Cuando la inclinación de los lados del trapecio es pequeña, puede usarse la fórmula ordinaria, tomando como ancho la semisuma de las bases.

Los coeficientes para vertederos libres de forma trapecial están expresados en la siguiente;

Tabla XVI

Carga sobre el umbral.	INCLINACIÓN DE LOS LADOS			
	Tomando como ancho la longitud del umbral.		Tomando como ancho la semisuma de las bases	
	2/1	1/1	2/1	1/1
0,07	—	0,470	—	0,430
0,08	—	0,502	—	0,443
0,09	—	0,523	—	0,457
0,10	0,467	0,536	0,424	0,469
0,11	0,480	0,545	0,430	0,479
0,12	0,496	0,568	0,436	0,490
0,13	0,508	0,571	0,442	0,488
0,14	0,518	0,572	0,448	0,481
0,15	0,527	0,571	0,452	0,473
0,16	0,533	0,569	0,454	0,465
0,17	0,536	0,565	0,455	0,458
0,18	0,537	0,559	0,453	0,452
0,19	0,537	0,553	0,450	0,447
0,20	0,538	0,547	0,447	0,441
0,25	0,539	—	0,430	—
0,30	0,540	—	0,413	—

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

62. *Presas sumergidas* ($L_a = L_c$).
Fórmula de Boileau (p = altura del vertedero),

$$Q = S\,(H+p)\sqrt{\frac{1-S}{(H+p)^2 - S^2\,H^2}} + L\,H\sqrt{2\,g\,H} =$$

$$= \mu_1\,L\,H\sqrt{2\,g\,H}\ ;$$

μ_1 está expresado todo en función de los elementos de la presa.

63. *Presas oblicuas* —Prácticamente se admite que el gasto de una presa oblicua á 45°, rectilíneo, es igual al de un vertedero ortogonal de igual ancho, multiplicado por un coeficiente igual á 0,911; si la inclinación es de 65° se usa el coeficiente 0,942; para inclinaciones intermedias, coeficientes intermedios.

Si la presa está formada por dos trozos rectilíneos unidos por un arco de círculo, el gasto se supone igual al de un vertedero normal de longitud igual á la suma de los dos trozos rectos más la mitad del desarrollo del arco de enlace.

El gasto varía también con la inclinación de las paredes de la presa.

64. *Presa con umbral inclinado.*—No hay fórmulas ni coeficientes aplicables á los diversos casos, pero se admite que cuando la diferencia de nivel entre los dos extremos del umbral es inferior á los $\frac{2}{5}$ de la luz, el error que se comete tomando el umbral como horizontal es inferior á $\frac{2}{200}$. La altura de carga se mide en el centro del umbral.

65. *Vertederos de coeficiente constante de salida.* – Es de forma trapecial, descubierto recientemente por Cipolletti, director de las obras del canal Villoresi; la base mayor es igual á la inferior aumentada en la mitad de la altura de la capa que vierte

$$B = b + \frac{H}{2}.$$

El gasto está dado por $Q = 1{,}86\,l\,H^{\frac{3}{2}}$.

Los dos triángulos laterales que dan la forma trapecial al orificio suplen con su gasto el coeficiente de salida lateral; queda, pues, sólo la contracción en el fondo, que es constante.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

66. *Vertedero en pared gruesa* (fig. 23).— Cuando el umbral es lo bastante ancho para que la altura h se conserve durante un cierto trayecto, se demuestra que h es igual á $\frac{2}{3}$ de la altura H del vertedero fuera del tiro de salida. Se tiene

$$Q = \mu L H \sqrt{2 g (H - h)} \quad \text{para } \mu = \frac{2}{3}; h = \frac{2}{3} H,$$

$$Q = 0{,}385 L H \sqrt{2 g H}.$$

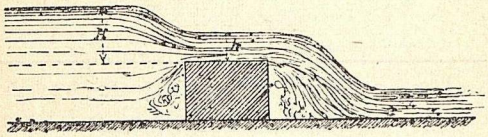


Fig. 23.

67. *Tubos adicionales.*—Si un orificio está practicado en pared gruesa ó seguido de un trozo de cañería de la misma forma y dimensiones, se le llama *tubo adicional.*

$$\text{Gasto: } Q = m \omega \sqrt{2 g H}: \quad m = 0{,}75 \div 0{,}82.$$

Respecto á la longitud de los tubos adicionales, se tienen los casos siguientes:

1.° Si la longiiud es $> 3 \div 4$ veces el diámetro del orificio, la vena no sale á caño lleno.

2.° Si la longitud es $\sim 3 \div 4$ veces al diámetro, la vena sale á caño lleno y se tienen dos tubos adicionales propiamente dichos.

3.° Si la longitud es mayor hay que tener en cuenta el rozamiento, con la fórmula $m' = m - 0{,}04 r$, en la que r es la relación entre la longitud y el diámetro del tubo.

4.° Si $r = 100$ el gasto se reduce á $\sim$ la mitad, por lo cual no es ventajoso entonces el tubo.

5.° Si $r > 100$ se recurre á la fórmula de la cañería.

Tubos adicionales cilíndricos.—$Q = m \omega \sqrt{2 g H}$; $m = \sim 0{,}82$; H = altura del nivel libre sobre el centro de gravedad del orificio; ω = sección del tubo cilíndrico adicional.

El experimento de Venturi consiste en colocar un tubo adicio-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

nal de modo que pueda ser aspirada una columna de agua colocada en un depósito inferior; esta columna puede llegar á valer $^3/_4$ de la carga, siempre que $\frac{3}{4} H < 10{,}33$, es decir, menor que la altura debida á la presión atmosférica.

Tubos adicionales cónicos convergentes.— Para obtener el máximo gasto y velocidad conviene un ángulo de convergencia de 13°. Tiene mucha importancia la aplicación de estos tubos á las ruedas Pelton.

Para los *tubos adicionales cónicos convergentes* ha determinado Castell los coeficientes que siguen siendo α el ángulo de convergencia

Tabla XVII

Angulo α =	0°	1°,36′	3°,10′	4°,10′	5°,26′	7°,52′	8°,58′	10°,20′	12°,4′
Coefi. μ =	0,829	0,886	0,895	0,912	0,924	0,929	0,934	0,938	0,942
Angulo α =	13°,24′	14°,28′	16°,36′	19°,28′	21°,00′	23°,00′	29°,38′	40°,20′	48°,50′
Coefi. μ =	0,946	0,941	0,938	0,924	0,918	0,913	0,896	0,870	0,847

Tubos adicionales cónicos divergentes.—Si la divergencia no es muy grande, aumentan el gasto, reduciendo á 0,95 el coeficiente μ. Si la divergencia es muy grande la vena se separa de las paredes y sale como en un orificio en pared delgada.

Para los *tubos adicionales cónicos divergentes* obtuvo Venturi, siendo σ el ángulo de divergencia.

Tabla XVIII

Angulo α =	3°,30′	4°,38′	4°,30′	5°,44′	10°,16′	14°,14′
Coeficiente μ =	0,93	1,21	1,34	1,02	0,91	0,91

Tubos de Borda.—Se aplican al orificio por la parte interior del depósito y sirven para que salga clara el agua. Se usan poco.

Tubos adicionales sumergidos.—Sirven para este caso las fórmulas de los tubos adicionales libres, sustituyendo H por el desnivel entre los niveles de aguas arriba y aguas abajo.

Tubos adicionales cilíndricos oblicuos.—Weisbach ha hecho

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

experimentos sobre tubos adicionales oblicuos, y halló los siguientes coeficientes para los valores del ángulo δ.

Tabla XIX

Angulo δ =	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Coeficiente μ =	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,73	0,72

Tubos adicionales con contracción incompleta. – Si se designa por η la relacion entre el perímetro en que no hay contracción y el contorno total del orificio, se tiene la tabla siguiente:

Tabla XX

Angulo η =	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
Coeficiente m =	0,83	0,84	0,85	0,87	0,89	0,90	0,92	0,94	0,97

68. *Salida con nivel variable* (fig. 24). – Sea un depósito de sección horizontal variable, S_z. Sea P el gasto afluente á dicho depósito y Q el que sale. La variación del volumen de agua en el recipiente, en un tiempo dt, será

$$dt = \frac{S_z}{P - Q} dz. \qquad (12)$$

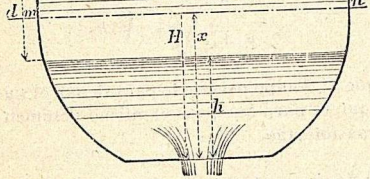


Fig. 24.

La P es sólo función del tiempo t, y Q es función de la altura del nivel z.

La integración no puede hacerse analíticamente en el caso general, sólo gráficamente por medio de diagramas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

69. *Casos particulares de salida con nivel variable.*—Orificio con carga en el fondo de un depósito.

Integrando la (**12**), se tiene:

$$t = -\frac{2S}{\mu A\sqrt{2g}}\left(\sqrt{h} - \sqrt{h_0}\right).$$

Gasto medio:

$$Q_m = \frac{(h - h_0)\,S}{\frac{2S}{\mu A\sqrt{2g}}\left(\sqrt{h} - \sqrt{h_0}\right)}$$

$$= \frac{\mu A\sqrt{2g}\,(\sqrt{h} + \sqrt{h_0})}{2},$$

que es la media de los gastos extremos.

Orificio en vertedero alto en una pared del depósito.

$$t = \frac{2S}{\mu_1 L\sqrt{2g}}\left(\frac{1}{\sqrt{h}} - \frac{1}{\sqrt{h_0}}\right).$$

Para $H_0 = 0$ se tiene $t = \infty$; es decir, que el depósito no puede vaciarse nunca por completo. En el cálculo de las compuertas, que corresponde á este caso, se supone que ha de quedar una capa de $5 \div 10$ cm.

Esclusas de navegación.—La boca de desagüe está en pared gruesa sumergida. Se tendrá:

$$t = \frac{2S}{\mu A\sqrt{2g}}\sqrt{h}$$

Es decir, que el tiempo necesario para llenar el cuenco es doble del que se requiere para que pase el mismo volumen de agua con las compuertas abiertas.

70. *Salida de un recipiente herméticamente cerrado.*—Dado un recipiente herméticamente cerrado si se practica un orificio en una de sus partes (fig. 25), habrá un chorro de agua de velocidad variable hasta que se tenga equilibrio entre las presiones interna y externa.

Sean λ la altura de la capa de aire y h la del agua en el re-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cipiente dado; x la del agua en el momento en que cesa la salida é y la presión en columna líquida del gas encerrado. Se tiene:

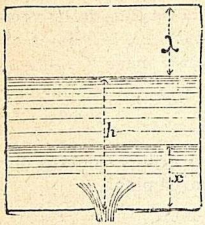


Fig. 25.

$$\frac{\lambda + h - x}{\lambda} = \frac{H}{y}$$

y para el equilibrio entre el interior y el exterior

$$y + x = H$$

siendo H la presión atmosférica. Estas dos ecuaciones simultáneas permiten calcular x é y.

71. *Salida desde un recipiente animado de un movimiento giratorio.*— Se tiene un depósito (fig. 26) animado de movimiento rotatorio. Su superficie de nivel representa un paraboloide cuya sección es una parábola de acuación $x = \frac{w^2}{2g}$ en que w es la velocidad que tienen todos los puntos de una zona interior concéntrica que diste y del eje de rotación su parámetro es $\frac{2g}{O^2}$ representando O la velocidad angular de rotación. Supóngase que el vaso gira sobre un eje vertical, y que haya dos orificios $a\ b$ y $c\ d$ en el fondo del vaso. La presión en el orificio central será $H_0 = A\ O$, y la que exista sobre un orificio cualquiera $c\ d$ que diste y del eje de rotación será $H_0 + \frac{w^2}{2g}$; la velocidad de salida:

$$v = \sqrt{2\ g\ H_0\ O^2\ y^2}$$

y para el orificio del centro

$$v = \sqrt{2\ g\ H_0}$$

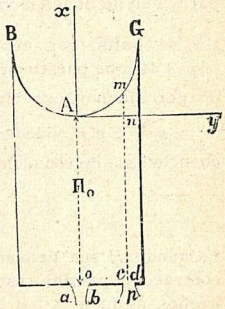


Fig. 26.

72. *Nueva teoría sobre los coeficientes de contracción.*—El ingeniero Alibrandi ha hecho recientemente un elegante y profundo estudio sobre la teoría de los coeficientes de salida, fundado

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en el principio de las cantidades de movimiento y de las impulsiones proyectadas. El autor determina la relación que debe haber entre el área A de un orificio con carga, la de una superficie ω que pasando por el perímetro de dicho orificio corta normalmente todos los filetes líquidos, y la Ω de la sección de la vena contraída. Suponiendo

$$\frac{\omega}{A} = \sqrt{\alpha},$$

la expresión más sencilla del coeficiente K de contracción, á que se llega teóricamente, es para orificios en pared plana

$$K = \alpha - \sqrt{\alpha^2 - \alpha} \qquad (13)$$

Halla después ω y luego α para A rectangular y circular en función del ángulo θ formado con el eje de A por los filetes rasantes á su perímetro.

La (13) es para el caso de la contracción uniforme y cuando la carga central H es muy grande.

Si las moléculas perimétricas á la salida están determinadas por impulsiones igualmente distribuídas dentro del ángulo β que mide la inclinación del orificio, (para A en pared plana $\beta = 90_0$; para A en inclinación completa $\beta = 0^0$) se tiene $\theta = \frac{\beta}{2}$. Entonces se halla, por ejemplo, para A circular en pared plana $\alpha = 1{,}447$ que puesto en la (13) da $K = 0{,}643$, número confirmado por muchos experimentos. Siendo la velocidad V de salida $V = n\sqrt{2\,g\,H}$ y deduciéndose de los experimentos $n = 0{,}96$ el coeficiente μ de reducción está dado por la

$$\mu = n\,h = 0{,}617.$$

Cuando H sea pequeña y la pared gruesa, es decir, que hay contracción parcial, resulta la consiguiente comprobación de los hechos, es decir:

1.º Que μ crece al disminuir la carga;

2.º Que μ es tanto mayor, cuanto mayor es la parte de perímetro en pared gruesa.

Todo esto en la hipótesis de que tenga lugar exactamente el

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

teorema de Torricelli, salvo las pérdidas por rozamientos. Caso en que el depósito está alimentado; de los experimentos de Poncelet y Lesbros se deduce que, en condiciones favorables, una parte de la fuerza viva de la caída alimentadora se cede á las moléculas que salen por A y directamente á las perimétricas. Entonces se demuestra que mientras n resulta mayor que el de los casos precedentes y puede hasta superar á la unidad, K, por el contrario, llega á ser menor que el K, normal correspondiente, por ser $0 > \frac{\beta}{2}$; así que μ cambia con ellas. La extinción más ó menos completa de la fuerza viva en los experimentos efectuados hasta ahora es la causa de la discordancia en los resultados, por lo cual son necesarios cuidadosos experimentos que puedan servir para comprobar los resultados teóricos y aplicarse á los casos en que se verifican las condiciones *normales*.

El progreso de estos estudios hace esperar una revolución científica que destruya tantos empirismos, causa hasta ahora de muchos errores.

§ 5.—Fórmulas y tablas relativas al movimiento uniforme.

73. *Fórmula fundamental del movimiento uniforme.*—Se expresa indiferentemente por una de las dos formas

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Forma francesa:} & R_m\, i = b\, U^2 \ldots\ldots\ldots \\ \text{» italiana} & U = \gamma \sqrt{R_m\, i} \ldots\ldots\ldots \end{array}\right\} \quad (14)$$

en la que

U = velocidad media del curso de agua.
i = pendiente por m. del ídem de íd.

$R_m = \frac{\omega}{c}$ = radio medio de la sección.

ω = área de la sección.
c = perímetro mojado.

La determinación del coeficiente de rozamiento $b = \frac{1}{\gamma^2}$ se hace hallando experimentalmente en la (**14**) los elementos i, U, ω, c y resolviéndola respecto á b.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

A) Fórmulas antiguas, que no tenian en cuenta la aspereza de las paredes.

74. *Fórmula con coeficiente establecido.*—Tadini y Turazza adoptan, para determinar la velocidad media U_1, la fórmula

$$U = \chi \sqrt{R_m i} ,$$

en la que R es el radio medio, ó sea el cociente del área de la sección dividida por el perímetro mojado; i = pendiente del curso de agua; χ un coeficiente numérico.

Tadini propone $\chi = 50$ y Eytelwein $\chi = 50{,}93$.

N. Stevenson da:

Para grandes ríos	($Q = 480$ m. c).	$\chi = 110$
» ríos ordinarios	($Q = 75$ m. c).	$\chi = 95$
« » »	($Q = 60$ m. c).	$\chi = 93$
» » pequeños	($Q = 30$ m. c.)	$\chi = 85$
» » »	($Q = 3$ m. c.)	$\chi = 75$

Respecto á la velocidad para ríos establecidos, da:

Para $U = 0{,}90$.	$\chi = 100$
» $U = 0{,}46$	$\chi = 94$
» $U = 0{,}076$.	$\chi = 72$
» Canales de fábrica.	$\chi = 100$
» » de tierra	$\chi = 94$

75. *Fórmula de Prony y Eytelwein.*

$$R\,i = \alpha\, U + \beta U^2,$$

con los coeficientes

$\alpha = 0{,}0000444494$, $\beta = 0{,}000309314$; (Prony)

$\alpha = 0{,}0000242615$, $\beta = 0{,}000365543$; (Eytelwein)

Resolviendo respecto á v para los primeros coeficientes, se tiene:

$$U = \sqrt{0{,}005161 + 3228\,R\,i} - 0{,}07184, \quad \text{(Prony)}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y con los coeficientes de Eytelwein,

$$U = \sqrt{0'00110158 + 2735{,}66\, R\, i} - 0{,}03319\,.$$

76. *Fórmula de Barré de S. Vennant.*

$$R\, i = m\, U^n\,,$$

que resuelta para U, da:

$$U = \sqrt[n]{\frac{R\, i}{m}}\;;$$

en la cual

$$m = 0{,}00040102\,,$$

$$n = \frac{21}{11}\,.$$

77. *Fórmula de Dupuit.*—Está calculada para grandes ríos y supone dos resistencias, la viscosidad y la adherencia á las paredes.

$$U = \frac{R\, i\, l}{0{,}024\, h} - 0{,}025 + \sqrt{2780\, R\, i + 0{,}00062}$$

en la que

l = ancho del río, h = altura del agua.

78. *Fórmula de Hagen.*—Para canales pequeños:

$$U = 4{,}90\, R_m \sqrt[3]{i}\,,$$

y para ríos

$$U = 3{,}34 \sqrt{R_m} \sqrt[5]{i}\,.$$

79. *Fórmula de Humphrais Abbot,* llamada también americana.

$$U = \left(\sqrt{ \left\{ 0{,}0025\, m + \sqrt{68{,}72\, r \sqrt{i}} \right\} - 0{,}05 \sqrt{m} } \right)^2 \qquad (15)$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en la que

$$m = \frac{0{,}913}{\sqrt{R_m + 0{,}475}},$$

$$R_m = \frac{\omega}{c} = \text{radio medio de la sección},$$

$$r = \frac{\omega}{c + l} = \text{radio principal}.$$

l = ancho superficial.

80. *Fórmula abreviada de Humphreys Abbot.*

$$v = \psi' \sqrt{R_m} \sqrt[4]{i}\,, \quad \psi' = \frac{\psi}{\sqrt[4]{i}}$$

ψ' es un coeficiente numérico que varía según la profundidad del agua, que se trate de ríos ó canales ó según la velocidad media; así se tiene la siguiente:

Tabla XXI

Velocidad media.	Coeficiente ψ' para profundidades de						
	0,40	0,80	1,50	2,50	4,00	8,00	
0,30	7,05	7,13	7 21	7,30	7,38	7,46	Para ríos.
0,50	7,21	7,38	7,46	7,55	7,63	7,71	
1,00	7,55	7,63	7,63	7,71	7,80	7,88	
1,50	7,63	7,71	7,80	7,80	7,88	7,96	
2,00	7,71	7,80	7,88	7,88	7,96	7,96	
0,30	6,63	6,71	6,78	6,86	6,97	7,02	Para secciones rectangulares.
0,50	6,86	6,86	6,97	7,09	7,09	7,17	
1,00	7,09	7,17	7,17	7,25	7,25	7,32	
2,50	7,17	7,25	7,25	7'32	7,32	7,40	
2,00	7,25	7,25	7,32	7,32	7,40	7,41	

La fórmula precedente sirve muy bien para los grandes ríos; puede decirse es la fórmula especial para el río Missisipí.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

81. *Fórmula de Gauchler.*—Gauchler considera que el agua se mueve, según ciertas leyes, hasta que la pendiente alcanza el límite de 0,0007, y pasado éste, varían las leyes del movimiento. Así se tiene para pendientes $< 0{,}0007$ por metro:

$$\sqrt{U} = \alpha \sqrt[3]{R_m} \sqrt[4]{i};$$

de donde

$$U = \alpha^2 \sqrt[3]{R_m^2} \sqrt{i}.$$

Para pendientes superiores á 0,0007 por metro, se tiene.

$$\sqrt[4]{U} = \beta \sqrt[3]{R_m} \sqrt[4]{i},$$

y

$$U = \beta^4 \sqrt[3]{R_m^4} \cdot i.$$

82. *Fórmula de Girad.*

$$U = \sqrt{0{,}25 + 8047\, R\, i} - 0{,}50.$$

83. *Fórmula de Bornemann.*

$$\sqrt[4]{U} = y \sqrt[3]{R_m} \sqrt[5]{i},$$

en la que

$y = 0{,}000090$ para canales de fábrica.
$y = 0{,}001600$ » » sin revestimiento de fábrica.
$y = 0{,}000623$ » » de madera.
$y = 0{,}003000$ » ríos.

84. *Fórmula de Tardini.*

$$Q = \frac{a\, i^{\frac{1}{2}}\, a^{\frac{3}{2}}}{C^{\frac{1}{2}}},$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en la que a, para velocidades comprendidas entre 1,50 y 200 es igual á 51,01, según ha calculado Turazza.

85. *Fórmula de Turazza*:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{b}} \sqrt{\frac{i\,\omega^3}{C}}$$

siendo b = una constante = 0,000382 para las corrientes de agua cuya velocidad media excede de 2,00 m. p. 1''.

86. *Fórmulas especiales.*—Después de muchos estudios especiales en el Adda y el Ticino, propone Lombardini.

$$\text{para el Adda} \quad Q = 100 \sqrt{H^3} - 3{,}2 \sqrt{H^5} \qquad (27)$$

$$\text{» » Ticino} \quad Q = 223\,(Y_0 + 0{,}52)^{3/2} \qquad (28)$$

H = profundidad media; Y_0 = altura del nivel del agua en el hidrómetro de *Sesto Calende.*

B) Fórmulas modernas que tienen en cuenta la aspereza de las paredes.

Las más interesantes son las siguientes:
Fórmulas de Darcy y Bazin.

$$U = \gamma \sqrt{R_m\, i} = \sqrt{\frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{R_m}}} \sqrt{R^m i}$$

ó bien

$$\frac{R\,i}{v^2} = \alpha + \frac{\beta}{R} \qquad (16)$$

Esta fórmula da óptimos resultados para canales pequeños y de gran pendiente ($> 0{,}0002$) y malos para los de poca pendiente ($< 0{,}0002$).

Los coeficientes α y β varían con la naturaleza de las paredes según la tabla siguiente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXII

Clase.	Naturaleza de las paredes.	α	β
I	Lisas y compactas.	0,00015	0,0000045
II	Compactas pero poco lisas. .	0,00019	0,0000133
III	» » ásperas. . . .	0,00024	0,00006
IV	De tierra.	0,00028	0,00035
V	De grava.	0,0004	0,0007
VI	En tierra con hierbas.	0,00046	0,00086

Tabla XXIII

Valor de los coeficientes γ para la fórmula (16).

R	I	II	III	IV	V	VI
	γ	γ	γ	γ	γ	γ
0,01	40,8	25,7	12,6	5,3	3,8	3,3
0,03	57,7	39,7	21,1	9,2	6,5	5,9
0,05	64,6	46,8	26,4	11,7	8,3	7,5
0,07	68,3	51,3	31,2	13,8	9,8	8,8
0,10	71,6	55,6	34,5	16,3	11,6	10,8
0,15	74,5	59,9	39,5	19,6	14,0	12,7
0,20	76,1	62,4	43,0	22,2	16,0	14,6
0,30	77,9	65,3	47,7	26,3	19,1	17,4
0,40	78,8	66,9	50,6	29,4	21,6	19,6
0,50	79,3	67,9	52,7	31,9	23,6	21,4
0,60	79,7	68,7	54,2	34,0	25,3	23,0
0,70	80,0	69,2	55,4	35,8	26,7	24,3
0,80	80,2	69,6	56,3	37,3	28,0	25,6
0,90	80,3	69,9	57,1	38,7	29,1	26,6
1,00	80,4	70,1	57,7	39,8	30,1	27,5
2,00	—	—	—	46,9	36,5	33,5
3,00	—	—	—	50,2	39,7	36,6
4,00	—	—	—	52,2	41,7	38,5
5,00	—	—	—	53,5	43,0	39,8
6,00	—	—	—	54,4	44,0	40,7
7,00	—	—	—	55,0	44,7	41,4
8,00	—	—	—	55,5	45,3	42,0
9,00	—	—	—	56,6	45,7	42,4
16,00	—	—	—	57,5	47,5	44 1
25,00	—	—	—	58,3	48,3	45,0
∞	81,65	72,55	64,55	59,76	50,0	46,6

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXIV

Cálculo del coeficiente $b = \frac{1}{\gamma^2} = \frac{R_m i}{U^2}$ en la fórmula de Darcy y Bazin.

R	Valores de $\frac{R_m i}{U^2}$ para paredes.			
	Muy lisas.	Lisas.	Rugosas.	De tierra.
0,01	0,000600	—	—	—
0,02	0,000375	0,000855	—	—
0,03	0,000300	0,000633	—	—
0,04	0,000262	0,000522	—	—
0,05	0,000240	0,000456	0,001440	—
0,06	0,000225	0,000412	0,001240	—
0,07	0,000214	0,000380	0,001097	—
0,08	0,000206	0,000356	0,000990	—
0,09	0,000200	0,000338	0,000907	—
0,10	0,000195	0,000323	0,000840	0,003780
0,11	0,000191	0,000311	0,000785	0,003462
0,12	0,000188	0,000301	0,000740	0,003197
0,13	0,000185	0,000292	0,000702	0,002972
0,14	0,000182	0,000285	0,000669	0,002780
0,15	0,000180	0,000279	0,000640	0,002613
0,16	0,000178	0,000273	0,000615	0,002468
0,17	0,000176	0,000268	0,000593	0,002339
0,18	0,000175	0,000264	0,000573	0,002224
0,19	0,000174	0,000260	0,000556	0,002122
0,20	0,000172	0,000256	0,000540	0,002030
0,21	0,000171	0,000253	0,000526	0,001947
0,22	0,000170	0,000250	0,000513	0,001871
0,23	0,000170	0,000248	0,000501	0,001802
0,24	0,000169	0,000245	0,000490	0,001738
0,25	0,000168	0,000243	0,000480	0,001680
0,26	0,000167	0,000241	0,000471	0,001626
0,27	0,000167	0,000239	0,000462	0,001576
0,28	0,000166	0,000237	0,000454	0,001530
0,29	0,000166	0,000236	0,000447	0,001487
0,30	0,000165	0,000234	0,000440	0,001447
0,31	0,000165	0,000233	0,000434	0,001409
0,32	0,000164	0,000232	0,000428	0,001374
0,33	0,000164	0,000230	0,000422	0,001341
0,34	0,000163	0,000229	0,000416	0,001309
0,35	0,000163	0,000228	0,000411	0,001280
0,36	0,000163	0,000227	0,000407	0,001252
0,37	0,000162	0,000226	0,000402	0,001226
0,38	0,000162	0,000225	0,000398	0,001201
0,39	0,000162	0,000224	0,000394	0,001177
0,40	0,000161	0,000223	0,000390	0,001155

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

R	Valores de $\frac{R_m i}{U^2}$ para paredes			
	Muy lisas.	Lisas.	Rugosas.	De tierra.
0,41	0,000161	0,000222	0,000386	0,001134
0,42	0,000161	0,000222	0,000383	0,001113
0,43	0,000160	0,000221	0,000380	0,001094
0,44	0,000160	0,000220	0,000376	0,001075
0,45	0,000160	0,000220	0,000373	0,001058
0,46	0,000160	0,000219	0,000370	0,001041
0,47	0,000160	0,000218	0,000368	0,001025
0,48	0,000159	0,000218	0,000365	0,001009
0,49	0,000159	0,000217	0,000362	0,000994
0,50	0,000159	0,000217	0,000360	0,000980
0,51	0,000159	0,000216	0,000358	0,000966
0,52	0,000159	0,000216	0,000355	0,000953
0,53	0,000158	0,000215	0,000353	0,000940
0,54	0,000158	0,000215	0,000351	0,000928
0,55	0,000158	0,000214	0,000349	0,000916
0,56	0,000158	0,000214	0,000347	0,000905
0,57	0,000158	0,000213	0,000345	0,000894
0,58	0,000158	0,000213	0,000343	0,000883
0,59	0,000158	0,000213	0,000342	0,000873
0,60	0,000158	0,000212	0,000340	0,000863
0,61	0,000157	0,000212	0,000338	0,000854
0,62	0,000157	0,000211	0,000337	0,000845
0,63	0,000157	0,000211	0,000335	0,000836
0,64	0,000157	0,000211	0,000334	0,000827
0,65	0,000157	0,000210	0,000332	0,000818
0,66	0,000157	0,000210	0,000331	0,000810
0,67	0,000157	0,000210	0,000330	0,000802
0,68	0,000157	0,000210	0,000328	0,000795
0,69	0,000157	0,000209	0,000327	0,000787
0,70	0,000156	0,000209	0,000326	0,000780
0,71	0,000156	0,000209	0,000325	0,000773
0,72	0,000156	0,000208	0,000323	0,000766
0,73	0,000156	0,000208	0,000322	0,000759
0,74	0,000156	0,000208	0,000321	0,000753
0,75	0,000156	0,000208	0,000320	0,000747
0,76	0,000156	0,000208	0,000319	0,000741
0,77	0,000156	0,000207	0,000318	0,000735
0,78	0,000156	0,000207	0,000317	0,000729
0,79	0,000156	0,000207	0,000316	0,000723
0,80	0,000156	0,000207	0,000315	0,000718
0,81	0,000156	0,000206	0,000314	0,000712
0,82	0,000155	0,000206	0,000313	0,000707
0,83	0,000155	0,000206	0,000312	0,000702
0,84	0,000155	0,000206	0,000311	0,000697
0,85	0,000155	0,000206	0,000311	0,000692
0,86	0,000155	0,000205	0,000310	0,000687

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

R	Valores de $\frac{R_m i}{U^2}$ para paredes.			
	Muy lisas.	Lisas.	Rugosas.	De tierra.
0,87	0,000155	0,000205	0,000309	0,000682
0,88	0,000155	0,000205	0,000303	0,000678
0,89	0,000155	0,000205	0,000307	0,000673
0,90	0,000155	0,000205	0,000307	0,000669
0,91	0,000155	0,000205	0,000306	0,000665
0,92	0,000155	0,000204	0,000305	0,000660
0,93	0,000155	0,000204	0,000305	0,000656
0,94	0,000155	0,000204	0,000304	0,000652
0,95	0,000155	0,000204	0,000303	0,000648
0,96	0,000155	0 000204	0,000303	0,000645
0,97	0,000155	0,000204	0,000302	0,000641
0,98	0,0 0155	0,000204	0,000301	0,000637
0,99	0,000155	0,000203	0,000301	0,000634
1,00	0,000155	0,000203	0,000300	0,000630
1,02	0,000154	0,000203	0,000299	0,000623
1,04	0,000154	0,000203	0,000298	0,000617
1,06	0,000154	0,000203	0,000297	0,000610
1,08	0 000154	0,000202	0,000296	0,000604
1,10	0,000154	0,000202	0,000295	0,000598
1,12	0,000154	0,000202	0 000294	0,000592
1,14	0,000154	0,000202	0,000293	0,000587
1,16	0,000154	0,000201	0,000292	0,000582
1,18	0,000154	0,000201	0,000291	0,000577
1,20	0,000154	0,000201	0 000290	0,000572
1,22	0,000154	0,000201	0,000289	0,000567
1,24	0,000154	0,000201	0,000288	0,000562
1,26	0,000154	0,000201	0,000288	0,000558
1,28	0,000154	0,000200	0,000287	0,000553
1,30	0,000153	0,000200	0,000286	0,000549
1,32	0,000153	0,000200	0,000285	0,000545
1,34	0,000153	0,000200	0,000285	0,000541
1,36	0,000153	0,000200	0,000284	0,000537
1,38	0,000153	0,000200	0,000283	0,000534
1,40	0,000153	0,000199	0,000283	0,000530
1,42	0,000153	0,000199	0,000282	0,000526
1,44	0,000153	0,000199	0,000282	0,000523
1,46	0,000153	0,000199	0,000281	0,000520
1,48	0,000153	0,000199	0,000281	0,000516
1,50	0 000153	0,000199	0,000280	0,000513
1,52	0,000153	0,000199	0,000279	0,000510
1,54	0,000153	0,000199	0,000279	0,000507
1,56	0,000153	0,000199	0,000278	0,000504
1,58	0,000153	0,000198	0,000278	0,000502
1,60	0,000153	0,000198	0,000277	0,000499
1,62	0,000153	0,000198	0,000277	0,000496
1,64	0,000153	0,000198	0,000277	0,000493

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

R	Valores de $\frac{R_m i}{U^2}$ para paredes.			
	Muy lisas.	Lisas.	Rugosas.	De tierra.
1,66	0,000153	0,000198	0,000276	0,000481
1,68	0,000153	0,000198	0,000276	0,000488
1,70	0,000153	0,000198	0,000275	0,000486
1,72	0,000153	0,000198	0,000275	0,000483
1,74	0,000153	0,000198	0,000274	0,000481
1,76	0,000153	0,000198	0,000274	0,000479
1,78	0,000153	0,000197	0,000274	0,000477
1,80	0,000153	0,000197	0,000273	0,000474
1,82	0,000152	0,000197	0,000273	0,000472
1,84	0,000152	0,000197	0,000273	0,000470
1,86	0,000152	0,000197	0,000272	0,000468
1,88	0,000152	0,000197	0,000272	0,000466
1,90	0,000152	0,000197	0,000272	0,000464
1,92	0,000152	0,000197	0,000271	0,000462
1,94	0,000152	0,000197	0,000271	0,000460
1,96	0,000152	0,000197	0,000271	0,000459
1,98	0,000152	0,000197	0,000270	0,000457
2,00	0,000152	0,000197	0,000270	0,000455
2,10	0,000152	0,000196	0,000269	0,000447
2,20	0,000152	0,000196	0,000267	0,000439
2,30	0,000152	0,000196	0,000266	0,000432
2,40	0,000152	0,000196	0,000265	0,000426
2,50	0,000152	0,000195	0,000264	0,000420
2,60	0,000152	0,000195	0,000263	0,000415
2,80	0,000152	0,000195	0,000262	0,000410
2,90	0,000152	0,000195	0,000261	0,000405
3,00	0,000152	0,000194	0,000261	0,000401
3,10	0,000151	0,000194	0,000259	0,000393
3,20	0,000151	0,000194	0,000259	0,000389
3,30	0,000151	0,000194	0,000258	0,000386
3,40	0,000151	0,000194	0,000258	0,000383
3,50	0,000151	0,000194	0,000257	0,000380
3,60	0,000151	0,000194	0,000257	0,000377
3,70	0,000151	0,000194	0,000256	0,000375
3,80	0,000151	0,000194	0,000256	0,000372
3,90	0,000151	0,000193	0,000255	0,000370
4,00	0,000151	0,000193	0,000255	0,000368
4,25	0,000151	0,000193	0,000254	0,000362
4,50	0,000151	0,000193	0,000253	0,000358
4,75	0,000151	0,000193	0,000253	0,000354
5,00	0,000151	0,000193	0,000252	0,000350
5,25	0,000151	0,000193	0,000251	0,000347
5,50	0,000151	0,000192	0,000251	0,000344
5,75	0,000151	0,000192	0,000250	0,000341
6,00	0,000151	0,000192	0,000250	0,000338

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

88. *Fórmula de Ganguillet y Kutter.*

$$U = \gamma \sqrt{R_m\, i} =$$

$$= \frac{23 + \dfrac{1}{n} + \dfrac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \dfrac{0{,}00155}{i}\right) \dfrac{n}{\sqrt{R_m}}} \cdot \sqrt{R_m\, i}\,, \qquad (17\ a)$$

para n (coeficiente de escabrosidad ó aspereza) se pasa doce clases de paredes; la primera para las muy lisas; la última las de grava gruesa; para las demás clases se interpola.

Tabla XXV

Coeficiente n para las diversas clases.

Clase.	n	Clase.	n	Clase.	n
I	0,12	V	0,35	IX	0,93
II	0,15	VI	0,45	X	1,22
III	0,20	VII	0,56	XI	1,67
IV	0,27	VIII	0,72	XII	2,44

89. *Fórmula abreviada de Ganguillet y Kutter:*

$$U = \gamma \sqrt{R_i} = \frac{100\sqrt{R_m}}{m + \sqrt{R_m}} \sqrt{R_m\, i}\,; \qquad (17\ b)$$

el coeficiente m varía con la forma de la sección y con la natura-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

leza de los taludes, según las doce categorías expresadas en la tabla siguiente:

Tabla XXVI

I.—$m = 0{,}12$ para paredes de cemento lisas, sección semicircular.	
II.—$m = 0{,}15$ para paredes de cemento lisas, sección rectangular.	
III.—$m = 0{,}20$ para paredes de tablas acepilladas, sección rectangular.	
IV.—$m = 0{,}25 \div 0{,}27$ para paredes de tablas sin acepillar ó fábricas lisas.	Sección rectangular.
V.—$m = 0{,}33 \div 0{,}35$ para paredes de fábrica ordinaria.	
VI.—$m = 0{,}45$ para paredes de sillarejo ó mampostería concertada.	
VII.—$m = 0{,}55$ para paredes de fábica, de mampostería ordinaria.	
VIII.—$m = 0{,}75$ para paredes de fábrica de mampostería, fondo fangoso.	
IX.—$m = 1{,}00$ para paredes de fábrica de mampostería, viejas, fondo fangoso.	
X.—$m = 1{,}25 \div 1{,}50$ para pequeños canales en roca y canales regulares, en tierra, sin plantas acuáticas, sección trapecial.	
XI.—$m = 1{,}75 \div 2{,}00$ para canales en tierra con grava y plantas acuáticas en el fondo, arroyos y ríos con cauce de tierra, sección trapecial.	
XII.—$m = 2{,}50$ para canales de tierra mal conservados y ríos con lecho de grava, sección trapecial.	

La siguiente tabla da los valores de γ para los doce casos presentados á fin de abreviar los cálculos. Una vez hallado el valor de $\sqrt{R m^i}$, conociendo la naturaleza de las paredes del canal y el valor de R, se encuentra el de γ en la tabla siguiente y basta una sencilla multiplicación para resolver la (**17** *b*).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXVII

R_m en metros.	Valores de $\gamma = \frac{100\sqrt{R}}{m+\sqrt{m}}$ para las diversas categorías.											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,01	45,5	40,0	33,3	27,0	23,2	18.2	15,2	12,2	9,7	7,6	5,6	3,9
0,03	59.0	33,6	46.4	39,0	33,1	27,8	23,6	19,4	15,7	12,4	9,4	6,6
0,05	61,1	59,9	52,9	45,3	39,0	33,2	28,6	23,7	19,4	15,5	11,8	8,4
0,07	68,8	63.9	57,0	49,5	43,1	37,1	32,1	26,9	22,2	17,8	13,7	9,8
0,10	72,5	67,8	61,2	53,9	47,5	41.3	36,1	30 5	25,4	20,6	15,9	11,5
0,11	73,2	68,6	62,1	54,8	48 5	42,3	37,1	31,4	26,2	21,3	16.5	11.9
0,12	74,0	69,5	63,1	55,9	49,5	43,3	38,0	32,3	27,0	22,0	17,1	12,3
0,13	74,7	70,3	64,0	56,9	50,5	44,3	39,0	33 2	27,8	22,7	17,7	12,8
0,14	75,5	71,2	65,0	57,9	51,5	45,2	39,9	34,1	28,6	23,4	18,3	13,3
0,15	76,3	72,0	65,9	58,9	52,5	46,2	40,9	35,0	29,4	24,1	18,9	13,7
0,16	76,8	72,5	66,5	59,6	53,2	46,9	41,6	35,6	30,0	24,6	19,3	14.0
0,17	77,3	73,2	67,1	60,3	53,9	47,6	42,3	36,3	30,6	25.2	19,8	14,4
0,18	77,8	73,7	67,8	60,9	54,7	48,3	43,0	36,9	31,2	25,7	20,2	14.7
0,19	78 3	74,3	68,4	61,6	55,3	49,1	43,7	37,6	31,8	26,3	20,7	15,1
0,20	78 8	74,9	69,0	62,3	56,1	49,8	44,4	38.3	32,4	26,8	21,1	15,5
0,25	80,4	76,7	71,1	64,7	58.6	52,2	47,0	40,8	34,8	28,9	22.9	17,0
0,30	82,0	78,5	73,2	67,0	61.0	54.9	49 5	43,2	37,1	31.0	24,7	18,4
0,35	83,0	79,7	74,6	68,6	62.7	56,7	51,3	45,0	38,8	32,6	26,1	19,5
0.40	84,0	80,8	76,0	70,1	64,4	58 4	53,0	46,7	40,4	34,1	27,5	20,6
0,45	84,8	81,7	77,0	71,3	65,7	59,8	54.4	48,1	41,8	35,4	28,6	21,6
0,50	85,5	82,5	77,9	72,4	66,9	61,1	55,8	49,5	43,2	36.7	29,7	22.5
0,55	86,0	83,2	78,7	73,3	67,9	62,2	57,0	50,7	44,4	37,8	30,7	23,3
0,60	86,6	83.8	79,5	74,2	68,9	63,3	58,1	51,8	45,5	38,9	31,7	24,1
0,65	87,0	84,3	80,1	74,9	69,7	64,2	59,0	52,8	46.4	39,8	32,5	24,8
0,70	87,5	84,8	80,7	75,6	70,5	65,1	59,9	53,8	47,4	40,7	33,4	25.5
0,75	87,9	85,2	81,2	76,2	71.2	65,8	60,7	54,6	48,2	41.5	34,2	26,2
0,80	88,2	85,6	81.7	76,8	71.9	66,5	61,5	55.4	49,0	42.3	34,9	26,8
0,85	88,5	86,0	82,2	77,4	72 5	67,2	62,2	56,2	49,8	43.1	35,6	27,4
0,90	88,8	86,4	82,6	77,9	73,0	67,8	62,9	56,9	50,5	43.8	36,2	28,0
0,95	89,0	86,7	83,0	78 3	73.5	68,4	63,5	57,6	51,2	44,4	36,9	28,6
1,00	89,3	87,0	83,3	78,7	74,0	69,0	64,1	58,2	51,8	45,0	37,5	29,1
1,50	—	—	—	—	—	—	—	—	56,1	49,4	41,7	32,9
2,00	—	—	—	—	—	—	—	—	60,3	53,7	45,9	36,7
2,50	—	—	—	—	—	—	—	—	62.7	56,2	48,4	39,1
3,00	—	—	—	—	—	—	—	—	65,0	58.7	50,9	41,5
3.50	—	—	—	—	—	—	—	—	66 7	60,4	52,7	43,3
4,00	—	—	—	—	—	—	—	—	68,3	62,1	54,5	45,0
4,50	—	—	—	—	—	—	—	—	69,5	63,4	55.9	46.4
5,00	—	—	—	—	—	—	—	—	70.6	64,8	57,3	47,8
5,50	—	—	—	—	—	—	—	—	71.6	65.8	58,4	49,0
6,00	—	—	—	—	—	—	—	—	72,5	66,8	59,5	50,1

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

90. *Fórmula nueva de Bazin:*

$$U = \gamma \sqrt{R^m i} = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R_m}}} \sqrt{R_m i}, \qquad (18)$$

en la que γ es el coeficiente de aspereza ó escabrosidad dado para las *seis* categorías:

$\gamma = 0{,}06$. 1.ª categoría. Paredes muy lisas (cemento, madera acepillada, etc.)

$\gamma = 0{,}16$. 2.ª — Paredes lisas (madera, sillería, ladrillo.

$\gamma = 0{,}46$. 3.ª — Paredes de mampostería.

$\gamma = 0{,}85$. 4.ª — Paredes mixtas.

$\gamma = 1{,}30$. 5.ª — Paredes de tierra.

$\gamma = 1{,}75$. 6.ª — Canales y ríos con paredes de gran resistencia.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXVIII

Valores de R_m	Valores de $\gamma = \frac{87}{1+\frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$ para las diversas categorías					
	1.ª $\gamma = 0{,}06$	2.ª $\gamma = 0{,}16$	3.ª $\gamma = 0{,}46$	4.ª $\gamma = 0{,}85$	5.ª $\gamma = 1{,}30$	6.ª $\gamma = 1{,}75$
0,05	68,5	50,7	28,4	18,1	12,8	9,9
0,10	73,1	57,7	35,5	23,6	17,00	13,3
0,15	75,3	61,5	39,7	27,2	19,9	15,8
0,20	76,6	64,1	42,9	30,0	22,3	17,7
0,25	77,43	65,86	45,24	32,19	24,09	19,31
0,30	78,40	67,30	47,3	34,1	25,8	20,7
0,35	79,17	68,47	48,80	35,67	27,14	21,92
0,40	79 40	69.40	50,4	37,1	28,5	23,1
0,45	79,86	70,21	51,59	38,37	29,48	24,10
0,50	89,20	70,90	52,7	39,5	20,6	25
0,60	80,73	72,03	54,55	41,41	32,45	26,62
0,70	81,17	73,09	56,11	43,15	34,02	28,10
0,80	81,52	73,77	57,42	44,54	35,41	29,40
0,90	81,78	74,38	58,55	45,05	36,63	30,48
1,00	82,00	75,0	59,6	47.00	37,8	31,6
1,20	82,47	75,86	61 25	48,98	39,76	33,41
1,40	82,73	76,56	62,64	50,55	41,41	35,06
1,60	82,99	77,17	63,77	52,02	42,80	36,45
1,80	83,26	77,69	64,73	53,24	47,42	37,67
2,00	83,4	68,1	65,1	54,3	45,3	38,9
2,50	83,78	78,99	66,34	56,55	47,67	41,24
3,00	84,0	79,6	68,7	58,3	49,7	43,3
3,50	84,3	80 13	68,82	59,77	51,33	44,89
4,00	84,4	80.5	70,7	61,00	52,7	46,4
4,50	84,56	80,82	71,43	62,04	53,94	47,59
5,00	84.7	81,2	72,1	63 00	55,00	48,8
6.00	84.91	81,6	73,35	64,55	56,90	50,72
7.00	84,99	82,03	74,12	65,06	58,29	52,37
8,00	85,17	82,30	74,82	66,90	59,59	53,76
9,00	85,26	82,56	75 43	67,77	60,72	54,98
10,00	83,3	82,8	75,9	68,5	61.6	56,00
15,00	85.6	83,52	77,78	71,25	65.07	60,3
20,00	85,8	84,0	78,8	73,00	67'3	62,5

Esta fórmula es la mejor y más usada para pendientes muy fuertes.

91. *Fórmula de Manning, derivada de la de Gauckler.*

$$U = c\sqrt[3]{R_m^2}\sqrt{i} = c\sqrt[6]{R_m}\sqrt{R_m i}$$

en la que c depende del grado de aspereza.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ 6.—Nociones generales y cálculo de los canales.

92. *Clasificación.*—Las principales son:
Canales de navegación;
» industriales;
» de riego;
» avenamiento y
» de desagüe (en crecidas).

93. *Trazado.*—Debe ser el más directo posible y desarrollado con curvas amplias.

En general, el trazado y el perfil deben satisfacer á los conceptos de máxima economía y utilidad, evitando los terrenos sueltos muy permeables, las obras de arte costosas y buscando, en lo posible, la mayor compensación entre desmontes y terraplenes. Los saltos deben disponerse de modo que pueda utilizarse la mayor altura de caída.

94. *Evaporación y filtración.*—La evaporación varía según las localidades y la extensión del canal.

Como término medio puede admitirse en los canales y cuencas pequeños una altura de:

m 0,003 ÷ 0,007 al día como media anual.
m 0,008 ÷ 0,20 » » » máxima en el estío.

La *filtración* es mayor si el canal está en terraplén y aun mayor si la pendiente es pequeña; mayor también en los primeros años de funcionamiento del canal; varía mucho según la naturaleza más ó menos permeable del lecho.

Se admite que varía de 0,008 ÷ 0,060 m. de altura de agua al día.

Las pérdidas por filtración se evitan en parte vertiendo arena fina sobre el fondo y taludes en que sean mayores, y si esto no es suficiente se recurre á los revestimientos totales ó parciales con fábrica.

95.—*Pendiente.*—La pendiente en los canales se establece según las categorías siguientes:

1.° Canales de navegación....	de $0^m,00$	÷ $0^m,00025$	por metro.
2.° » industriales.....	» $0^m,0004$	÷ $0^m,0005$	» »
3.° Grandes canales de riego.	» $0^m,0002$	÷ $0^m,0005$	» »
4.° Pequeños.....	» $0^m,0006$	÷ $0^m,0008$	» »
5.° de derivación.....	» $0^m,001$	÷ $0^m,002$	» »

96.—*Velocidad.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

NATURALEZA DEL FONDO	Pendiente máxima correspondiente á la velocidad, en 1.000 m.	Velocidad mínima con que el agua empieza á atacar las paredes.
(TELFORD)	*(Redtembacher)*	m. p. 1''
Tierras fangosas	0,016	0,076
Arcilla blanda	0,045	0,152
Arena	0,136	0,305
Gravilla	0.433	0,6 9
Grava	0,570	0,614
Cantos rodados	1,509	1,22
Conglomerados	2,115	1,52
Rocas estratificadas	2,786	1,83
Roca dura	7,342	3,00
(DUBUAT)		
Arcilla blanca de alfareros	—	0,081
Arena gruesa amarilla	—	0,217
» (0^m,002 de diámetro)	—	0,108
» (0^m,004 de diámetro)	—	0,189
» (0^m,008 de diámetro)	—	0,325
Cantos rodados de 0^m,027 de diámetro)	—	0,650
Piedras silíceas angulosas de unos $0,^m07$ m	—	0,975

El límite de la velocidad en el fondo para que no haya depósitos en el trayecto se fija en:

Para aguas fangosas	0,25
» » con arena fina	0,30
» » con arena gruesa	0,50
» » con cantos pequeños	0,75

También se limita en:

$0,25 \div 0,30^m$ p. 1'' para aguas fangosas.
$0,45 \div 0,50^m$ » » » » arenosas.
$0,40 \div 0,45^m$ » » » » potables.

Las velocidades medias usadas comunmente son:

Canales de navegación	$0,00 \div 0,50$
» industriales	$0,40 \div 0,80$
» de riego	$0,40 \div 1,00$

La velocidad media puede suponerse, como término medio = $^4/_3$ de la velocidad en el fondo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

97.—*Sección.—Formas de las secciones más usadas.*

Para canales de tierra: forma trapecial y triangular.

Para canales de fábrica: rectangular, trapecial, circular y parabólica.

Para los tubos de cemento ó metálicos: rectangular, trapecial, circular, parabólica, ovoidal á caño lleno ó no.

Dimensiones más convenientes para secciones de los canales, dada la inclinación de los taludes. (Véase la tabla siguiente.)

Tabla XXIX.

Inclinación de los taludes.	cotg. δ	Profundidad. a	Ancho en el fondo. b	a cotg δ	Ancho en la superficie $b + 2\,a$ cotg δ	Perímetro mojado C
90°	0,000	0,707	1,414	0,000	1,414	2,828
60°	0,577	0,760	0,877	0,439	1,755	2,632
45°	1,000	0,740	0,613	0,740	2,092	2,704
40°	1,192	0,722	0,525	0,860	2,246	2,771
36° 52°	1,333	0,707	0,471	0,943	2,357	2,828
35°	1,402	0,697	0,439	0,995	2,430	2,870
30°	1,732	0,664	0,536	1,150	2,656	3,012
26° 34'	2,000	0,630	0,300	1,272	2,844	3,144
círculo	—	0,798	—	—	1,596	2,507

Valores más usados de cotg. δ (inclinación de los taludes).

Canales excavados en tieras compactas con revestimiento en los taludes.. ..... cotg $\delta = 1$

Canales de fábrica..... cotg $\delta = 1/2$

» en tierras compactas sin revestimiento en los taludes ..... cotg $\delta = 1/2$

Canales en tierras flojas, arenas, etc..... cotg $\delta = 2$

98.—*Secciones de máxima economía.*—La condición de máxima economía es:

$$\omega = \frac{Q}{U} \text{ mínimo.}$$

Influye en ello la forma de la sección y la relación entre sus diversos elementos cuando se da la forma. Las secciones curvilíneas, son secciones de economía máxima respecto á las rectilí-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

neas. Se adopta el semicírculo si la sección es de fábrica ó en terrenos consistentes, y si es arbitrario el ancho en el segmento circular se elige el que dé el perímetro mojado mínimo.

Análogamente ocurre con las secciones parabólicas.

La excavación resulta fácil con plantillas convenientes.

99.—*Máxima economía en las secciones trapeciales* (fig. 27).

Primer caso.—Dado el ángulo α de inclinación de los taludes, y variables la profundidad p, y el ancho b y d en la superficie y el fondo.

Se tiene para la máxima economía,

$$b = d + 2\,p\,\text{tg}\,\alpha = \frac{2\,p}{\cos\alpha} \quad \text{de la que} \quad p = \frac{b+d}{2}.\,\frac{\cos\alpha}{2-\text{sen}\,\alpha}$$

esto es: *que el ancho en la superficie es igual á la suma de los dos taludes.*

Segundo caso.—Dado p, variables b y d_1: para la máxima economía $\alpha = 30^0$; es decir: *que la sección es igual al semi-exágono regular.*

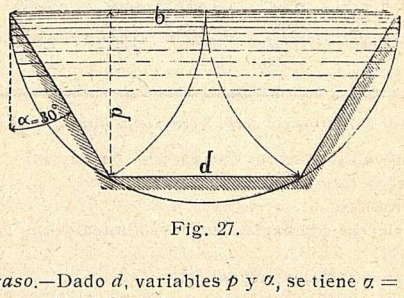


Fig. 27.

Tercer caso.—Dado d, variables p y α, se tiene $\alpha = 45^0$ para la máxima economía; si $d = 0$ la sección en ese caso debe ser triangular ÷ en las alcantarillas pequeñas se adopta esa sección redondeando el ángulo recto.

Sección del canal.—La forma de sección más empleada es la trapecial; en el cuadro siguiente aparecen las fórmulas para calcular rápidamente la superficie A y el perímetro mojado C, para seis secciones trapeciales, variando los taludes; en ellas a representa el ancho en el fondo, h la altura del agua. Las dimensiones en metros.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tipo.	TALUD		Sección	Perímetro mojado
	Base.	Altura.	$A =$	$C =$
I	2	1	$(2h + a)h$	$4{,}4271\,h + a$
II	1,50	1	$(1{,}50\,h + a)h$	$3.6056\,h + a$
III	1	1	$(h + a)h$	$2{,}8284\,h + a$
VI	0,50	1	$(0{,}50\,h + a)h$	$2{,}2361\,h + a$
V	0,25	1	$(0{,}25\,h + a)h$	$2{,}06156\,h + a$
VI	0,20		$(0{,}20\,h + a)h$	$2{,}0396\,h + a$

Conocidos A y C se determina el radio medio

$$R = \frac{A}{C}$$

Tablas gráficas para el cálculo de los canales (Viappiani).— Para la solución expedida de los problemas referentes al cálculo de los canales, se han calculado las seis tablas gráficas que se insertan á continuación. Ha servido para ello la fórmula nueva de Bazin,

$$\frac{\sqrt{R\,i}}{v} = 0{,}01115\left(1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}\right),$$

$$v = \gamma\sqrt{R\,i} = \frac{87}{1 + \dfrac{\gamma}{\sqrt{R}}}\sqrt{R\,i}$$

para todos los casos, es decir

$\gamma = 0{,}06 \div 0{,}16 \div 0{,}46 \div 0{,}85 \div 1{,}30 \div 1{,}75$ (véase núm. 90).

Los problemas que pueden resolverse son:

1.º Dados el gasto Q y la pendiente i, hallar la sección A.

2.º Dados el gasto Q, la pendiente i y el perfil de la sección, hallar la altura del agua.

3.º Dada la sección A y la pendiente i, hallar el gasto Q.

4.º Dado el gasto Q y la sección, determinar la pendiente.

Ejemplos: Se conoce el gasto $Q = 4\ m^3$ y la pendiente $i = 0{,}0008$, de un canal; se busca la sección transversal A, suponiendo se trata de un canal ordinario en tierra, para el cual el coeficiente $\gamma = 1{,}30$.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La sección se determina aplicando la regla de Colombo, Se tendrá

$$A = 2\,h \,.\, h = 3\,h^2; \qquad C = 2\,h + 2\,h + 1{,}414 = 4{,}83\,.\,h,$$

$$R = \frac{A}{C} = \frac{3\,h^2}{4{,}83\,h} = 0{,}621\,h.$$

Se procede por tanteos del modo siguiente:
Se supone una altura de agua $h = 1{,}30$ y se tiene,

$$A = 3 \times 1{,}30^2 = 5{,}07, \qquad R = 0{,}621 \times 1{,}30 = 0{,}807,$$

con este valor de R y el de $i = 0{,}8$ por 1.000, se busca en la tabla V. la velocidad correspondiente, y se hallará $v = 0{,}90$ y, por consiguiente:

$$Q = A\,v = 5{,}07 \times 0{,}90 = 4{,}56$$

que es superior al dado.

Se procede á un segundo tanteo, tomando $h = 1{,}20$, y se obtendrá:

$$A = 4{,}32; \qquad R = 0{,}745; \qquad v = 0{,}84; \qquad Q = 3{,}63$$

valor inferior al dado.

En su tercer tanteo, tomando $h = 1{,}24$ se halla:

$$A = 4{,}61; \qquad R = 0{,}77; \qquad v = 0\,87; \qquad Q = 4{,}01$$

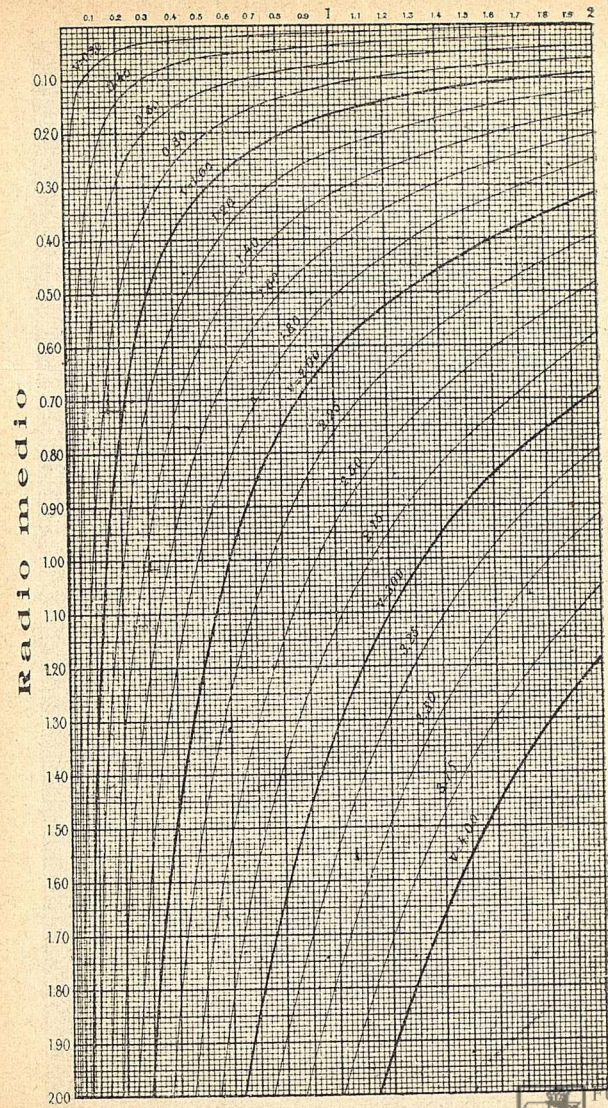
con lo cual queda resuelto el problema.

En vez de tomar valores distintos de h pueden tomarse de v y entonces, con la $A = 3\,h^2$ y la $R = \frac{3\,h}{4.83}$, que se convierte en la $h = 1{,}61\,R$, se resuelve el problema buscando primero en la tabla el valor de R, que corresponde á los combinados de i y v; luego se calculan h, A y C, efectuando tanteos hasta dejar resuelto el problema.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla 1.ª

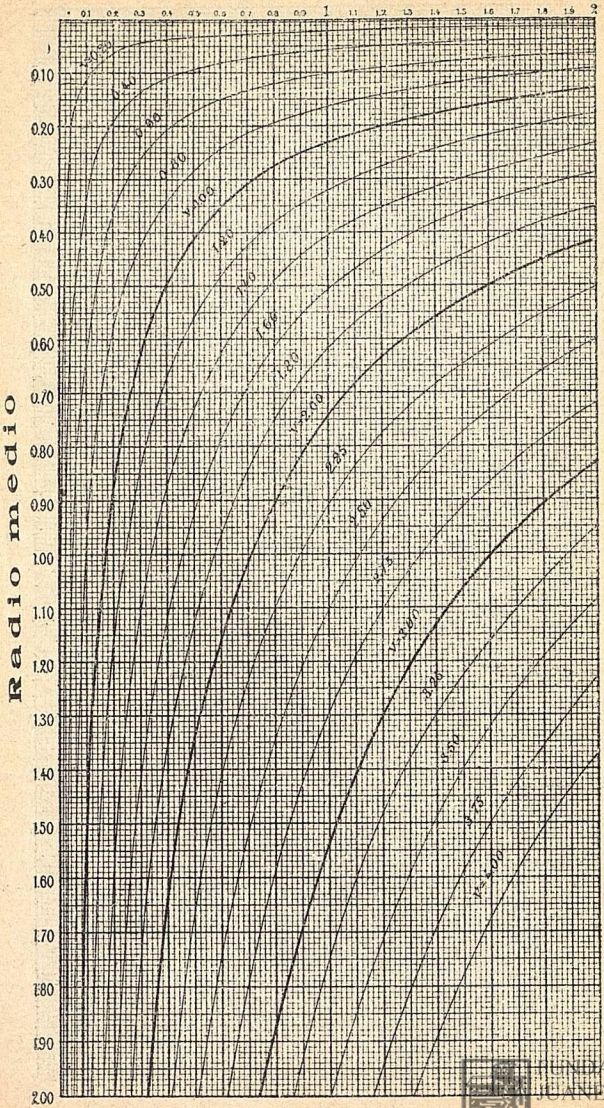
Pendiente por mil. $\gamma = 0{,}06$.



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla 2.ª

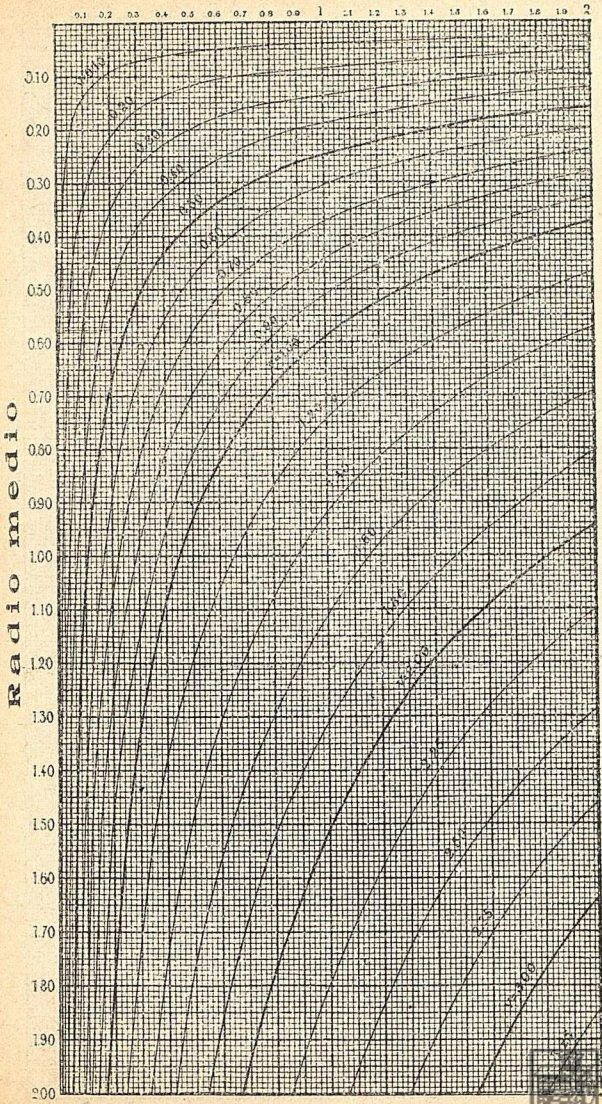
Pendiente por mil. $\gamma = 0{,}16$.



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla 3.ª

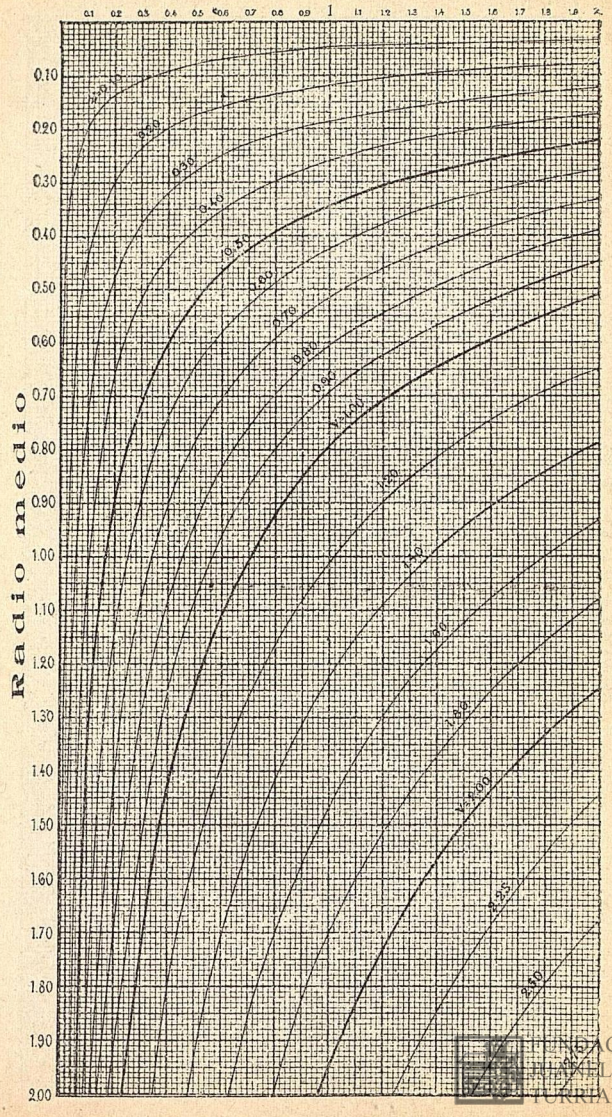
Pendiente por mil. $\gamma = 0{,}46$.



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla 4.ª

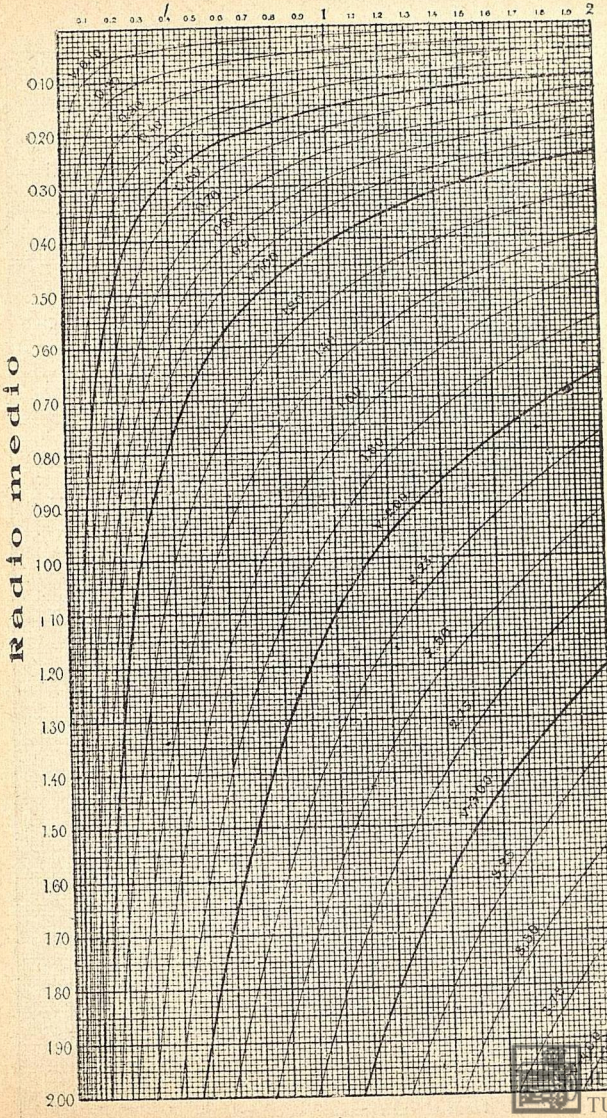
Pendiente por mil. $\gamma = 0{,}85$.



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla 5.ª

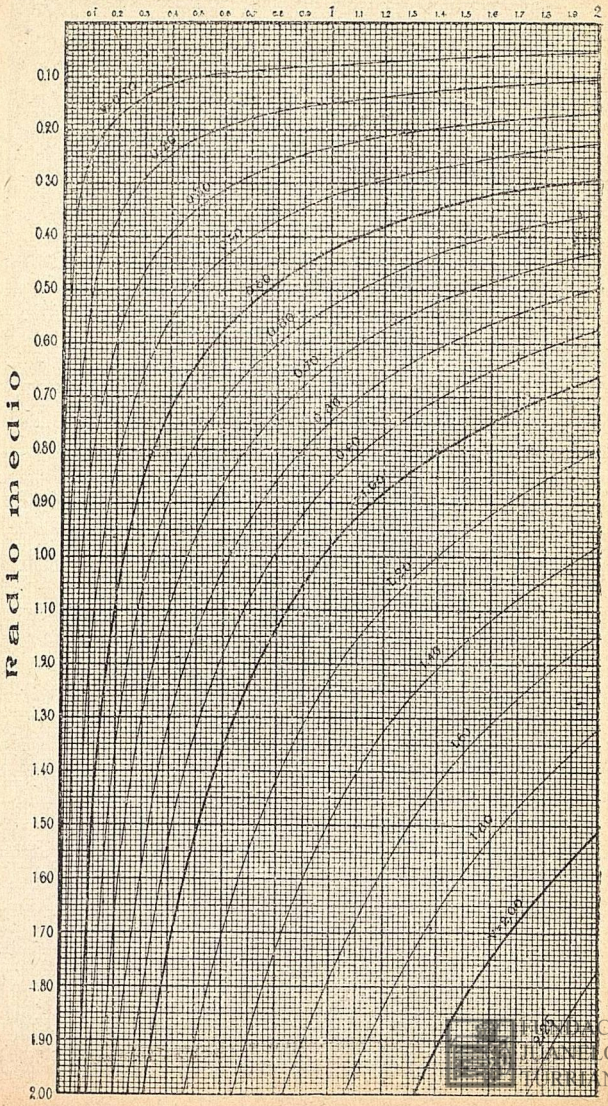
Pendiente por mil. $\gamma = 1{,}30$.



FUNDACIÓN MANUEL TORRES

Tabla 6.ª

Pendiente por mil. $\gamma = 1{,}75$.



FUNDACIÓN JUANELO TORRIANO

Tablas numéricas para el cálculo de las secciones de los canales.

Conocidas la sección, perímetro mojado y radio medio, puede hallarse la velocidad media, utilizando las dos tablas siguientes:

La primera sirve para los canales de tierra; contiene los valores de v para los del radio medio de $0{,}08 \div 4{,}30$ y pendientes $i = 0{,}00005 \div 0{,}001$ por metro.

La velocidad está calculada con la fórmula nueva de Bazin

$$v = \frac{87}{1 - \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \sqrt{R\,i}$$

siendo $\gamma = 1{,}30$.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

TABLA XXX.—CA

B = radio medio.

R	PENDIENTE i POR METRO						
	0.00005	0.00010	0.00015	0.00020	0.00025	0.00030	0,00035
	V	V	V	V	V	V	V
0.08	0.031	0.044	0.054	0.062	0.070	0.076	0.082
10	038	054	066	076	085	093	101
12	045	063	678	090	100	110	119
14	051	073	089	103	115	126	136
16	058	082	100	116	129	142	153
18	064	691	111	128	144	158	170
20	070	100	122	141	157	172	186
22	076	108	133	153	171	187	202
24	082	117	143	165	184	202	218
26	088	125	153	177	198	216	234
0.28	0.094	0.133	0,163	0.188	0.210	0.231	0.249
30	100	141	173	200	223	245	265
32	106	149	183	211	236	258	279
34	111	157	192	222	248	272	294
36	117	165	202	233	261	286	308
38	122	173	211	244	273	299	323
40	127	180	221	255	285	311	337
42	132	187	229	265	296	324	351
44	138	195	238	276	308	337	366
46	143	202	248	286	320	350	379
0.48	0.148	0.210	0.257	0.296	0.331	0.363	0.392
50	153	217	266	306	343	375	406
52	158	224	274	317	354	388	419
54	163	231	283	327	365	400	432
56	168	238	291	336	376	412	445
58	173	245	300	346	387	424	458
60	178	252	308	356	398	436	471
62	183	258	316	365	409	448	484
64	187	265	325	375	419	459	496
66	192	272	333	384	430	471	509
0.68	0.197	0.278	0.341	0.394	0.440	0.482	0.521
70	202	285	349	404	450	494	534
72	206	292	357	412	461	505	546
74	211	298	365	421	471	516	558
76	215	304	373	431	481	527	570
78	220	311	381	440	491	538	582
80	225	317	389	449	501	549	594
82	229	323	396	457	511	560	605
84	233	330	404	466	521	571	617
86	238	336	411	475	531	582	628
0.88	0.242	0.342	0.419	0.484	0.541	0.592	0.640
90	246	348	426	492	550	603	652

FUNDACION JUANELO TURRIANO

V = velocidad media.

PENDIENTE i POR METRO							
0.00040	0.00045	0.00050	0.00060	0.00070	0.00080	0.00090	0.001
V	V	V	V	V	V	V	V
0.088	0.093	0.098	0.108	0.116	0.124	0.132	0.139
108	114	120	132	142	152	161	170
127	134	141	155	168	179	190	200
146	154	163	178	192	206	218	230
164	174	183	201	217	232	246	259
182	193	203	222	240	257	272	287
199	211	223	244	263	282	299	315
216	229	242	265	286	306	324	342
233	247	261	285	309	330	350	369
250	265	279	306	331	353	375	395
0.266	0.282	0.297	0.326	0.352	0.376	0.399	0.421
282	300	316	345	373	399	424	446
298	317	334	366	395	422	448	472
314	333	351	385	416	444	471	497
329	349	369	404	436	466	495	521
345	366	386	423	456	488	517	545
360	382	403	441	476	509	540	569
374	397	419	459	496	529	562	592
390	413	435	478	516	551	585	616
405	429	452	496	535	572	607	640
0.419	0.445	0.468	0.513	0.554	0.592	0.629	0.663
433	460	485	531	574	613	650	685
448	475	500	548	593	633	672	708
462	490	516	566	611	653	693	730
476	505	532	583	629	673	714	752
490	520	547	599	648	693	734	774
504	535	563	616	666	713	755	796
517	550	578	633	684	732	775	817
530	564	594	649	702	750	795	838
544	577	609	666	719	769	815	860
0.557	0.591	0.624	0.682	0.737	0.788	0.835	0.880
570	604	638	698	754	808	855	901
583	618	653	714	772	825	875	922
596	632	667	730	789	843	894	942
609	646	681	745	806	861	913	663
622	659	696	761	822	879	932	983
636	673	710	779	840	899	951	1.003
647	686	723	792	856	915	970	022
659	699	737	808	873	933	989	043
672	712	750	823	890	950	1.007	062
0.684	0.726	0.765	0.838	0.906	0.967	1.026	1.082
696	739	779	853	921	984	045	101

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXX

R	PENDIENTE *i* POR METRO						
	0.00005	0.00010	0.00015	0.00020	0.00025	0.00030	0.00035
	V	V	V	V	V	V	V
0.92	0.251	0.354	0.434	0.501	0.560	0.612	0.663
94	255	360	441	510	570	624	674
96	259	366	449	518	579	634	685
98	263	372	457	526	589	645	697
1.00	267	378	465	534	598	655	708
02	272	384	472	543	608	665	719
04	276	390	478	552	617	676	730
06	280	396	485	560	626	686	741
1.08	0.284	0.402	0.492	0.568	0.635	0.696	0.751
10	288	407	499	576	644	706	761
12	292	413	506	584	653	716	772
14	296	419	513	592	662	726	782
16	300	425	520	600	671	736	792
18	304	331	527	608	680	746	802
20	308	436	533	616	689	755	812
22	312	442	540	624	699	765	822
24	316	447	547	632	708	774	832
26	320	453	554	640	716	784	844
1.28	0.324	0.458	0.561	0.648	0.724	0.793	0.856
30	328	463	567	656	733	803	868
32	332	469	574	664	742	813	878
34	335	474	581	671	750	822	888
36	339	480	588	679	759	831	898
40	343	485	594	686	767	840	908
40	347	490	600	694	776	850	918
42	351	496	607	702	784	859	928
44	354	501	614	709	792	868	938
46	358	506	620	716	801	877	947
1.48	0.362	0.512	0.626	0.723	0.809	0.888	0.957
50	365	517	633	730	817	898	967
52	369	522	640	738	326	907	977
54	372	527	646	746	834	915	986
56	376	533	652	753	842	923	996
58	380	538	658	760	850	931	1 006
60	384	543	664	778	858	940	016
62	388	548	671	775	866	949	025
64	391	553	677	782	874	958	034
66	395	558	683	790	882	967	043
1.68	0.399	0.563	0 689	0.797	0.890	0.976	1.052
70	402	568	695	804	898	984	061
72	406	573	702	811	906	993	071
74	409	578	708	817	914	1.001	081
76	413	583	714	824	922	011	091
78	416	588	720	831	930	020	100
80	419	593	726	838	937	029	109

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PENDIENTE *i* POR METRO

0.00040	0.00045	0.00050	0.00060	0.00070	0.00080	0.00090	0.001
V	V	V	V	V	V	V	V
0.709	0.752	0.793	0.868	0.936	1.002	1.063	1.120
721	765	806	883	953	019	081	139
733	777	819	898	969	036	099	158
744	790	833	913	985	052	117	177
756	802	846	927	1.001	068	135	196
768	814	859	941	017	087	152	215
780	827	872	955	032	103	170	233
792	840	885	970	047	120	188	252
0.803	0.852	0.898	0.984	1.062	1.136	1.205	1.270
814	864	911	998	086	152	222	289
826	877	924	1.012	099	168	240	307
838	889	937	026	112	184	257	325
850	900	950	040	125	200	273	242
861	911	962	054	137	216	288	360
872	921	974	067	149	232	303	378
883	932	986	081	166	248	322	396
894	943	998	095	183	264	341	413
905	953	1.010	109	198	280	358	431
0.916	0.964	1.022	1.122	1.212	1.295	1.374	1.448
926	974	035	135	226	312	390	466
937	986	048	148	240	327	407	483
948	998	061	161	254	342	423	500
959	1.014	074	175	269	357	439	517
970	028	087	188	284	372	455	534
981	041	097	201	298	387	471	551
992	052	109	214	312	402	487	568
1.002	063	121	227	326	417	503	585
013	074	132	240	340	432	519	601
1.024	1.085	1.144	1.253	1.354	1.446	1.535	1.618
035	096	156	266	368	460	556	635
045	107	168	279	382	476	567	651
055	118	180	292	396	491	582	667
065	129	191	305	409	506	598	684
075	140	202	317	422	521	613	700
086	151	214	329	436	536	628	716
096	162	226	342	450	550	644	732
106	173	237	354	453	564	659	748
116	184	248	367	477	579	674	764
1.126	1.195	1.259	1.379	1.490	1.594	1.689	1.780
136	206	270	391	503	608	704	797
146	216	281	404	516	622	719	812
156	226	292	416	529	635	734	828
166	236	304	428	542	649	749	844
176	246	315	440	555	663	764	860
186	256	325	452	568	676	778	875

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXX

R	PENDIENTE *i* POR METRO						
	0.00005	0.00010	0.00015	0.00020	0.00025	0.00030	0.00035
	V	V	V	V	V	V	V
1.82	0.423	0.598	0.732	0.845	0.945	1.037	1.118
84	427	603	738	852	953	045	127
86	430	607	744	859	960	053	136
1.88	0.433	0.612	0.750	0.866	0.968	1.061	1.145
90	436	617	756	872	977	069	154
92	440	622	762	879	985	077	163
94	444	627	768	886	994	085	172
96	447	632	773	893	1.002	093	181
98	451	637	779	900	008	104	190
2.00	454	641	785	907	014	114	199
02	457	646	791	914	022	121	208
04	460	651	797	921	029	128	217
06	463	655	802	927	036	135	226
2.08	0.467	0.660	0.808	0.934	1.044	1.143	1.235
10	470	665	814	940	051	151	243
12	474	670	820	947	059	159	253
14	477	674	826	954	066	167	262
16	480	678	831	960	073	175	271
18	483	683	837	966	080	184	280
20	486	688	842	972	087	193	289
22	490	693	848	979	095	201	297
24	493	697	854	986	102	208	305
26	496	701	859	992	109	215	312
2.28	0.499	0.706	0.865	0.998	1.116	1.223	1.319
30	502	710	870	1.004	123	230	327
32	506	715	876	011	131	238	336
34	509	719	881	017	138	246	346
36	512	724	887	024	145	254	356
38	515	729	892	031	152	262	365
40	518	733	897	037	158	269	374
42	522	738	903	043	166	277	382
44	525	742	909	049	173	285	389
46	528	746	914	055	180	292	396
2.48	0.531	0.751	0.919	1.062	1.187	1.300	1.404
50	534	755	924	068	193	308	412
52	537	760	930	074	200	316	420
54	540	764	936	080	207	323	429
56	543	768	941	086	214	330	437
58	546	772	946	092	221	338	445
60	549	670	951	098	228	345	453
62	552	781	957	105	235	353	461
64	555	786	962	111	242	361	469
66	558	790	967	117	248	368	477
2.68	0.561	0.794	0.972	1.123	1.255	1.375	1.485

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PENDIENTE *i* POR METRO

0.00040	0.00045	0.00050	0.00060	0.00070	0.00080	0.00090	0.001
V	V	V	V	V	V	V	V
1.196	1.267	1.336	1.464	1.581	1.690	1.793	1.891
206	278	347	476	594	704	808	906
215	289	358	488	607	718	822	921
1.225	1.300	1.369	1.500	1.620	1.731	1.837	1.937
234	311	380	512	633	744	851	953
244	321	391	524	646	758	866	971
254	331	402	536	659	772	881	990
263	340	413	547	673	786	895	2.004
273	350	424	562	686	800	909	017
282	360	436	576	698	814	923	030
292	370	446	586	710	827	938	044
301	380	456	596	722	840	952	058
310	390	465	605	734	853	966	072
1.320	1.400	1.476	1.617	1.746	1.867	1.980	2.087
330	410	486	628	758	880	994	102
339	420	497	640	771	893	2.008	117
348	430	507	651	783	906	022	132
357	439	517	662	795	919	035	146
367	448	528	674	808	932	049	161
376	458	538	685	820	944	063	175
385	468	548	696	832	958	077	190
394	478	558	707	844	971	091	204
403	488	568	718	856	984	104	218
1.412	1.498	1.579	1.729	1.868	1.996	2.118	2.232
420	508	589	740	880	2.008	131	246
430	517	599	751	892	022	145	261
438	526	609	762	903	035	158	275
448	536	619	773	915	048	172	289
457	545	629	784	927	061	185	303
466	555	639	795	939	074	198	317
475	564	649	806	951	086	212	331
484	574	659	817	963	098	225	345
492	583	668	828	974	110	238	359
1.501	1.592	1.678	1.839	1.987	2.123	2.252	2.373
510	601	688	849	999	136	265	387
519	611	698	860	2 010	148	278	401
528	620	708	871	021	160	291	415
536	629	718	881	032	172	304	429
544	638	728	892	044	184	317	443
552	647	737	902	055	196	330	456
561	657	747	913	067	209	343	470
570	666	757	924	078	221	359	484
579	675	766	934	089	233	369	497
1.587	1.684	1.776	1.945	2.100	2.245	2.382	2.511

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXX

R	PENDIENTE *i* POR METRO						
	0.00005	0.00010	0.00015	0.00020	0.00025	0.00030	0.00035
	V	V	V	V	V	V	V
2.70	0.564	0.797	0.977	1.128	1.262	1.382	1.492
72	567	802	983	135	269	390	501
74	570	807	988	141	276	397	509
76	573	811	993	147	282	404	517
78	576	815	998	153	289	412	525
80	579	819	1.003	158	295	419	532
82	582	824	009	164	302	427	546
84	585	828	014	170	309	434	549
86	588	832	019	176	315	441	556
2.88	0.591	0.836	1.024	1.182	1.322	1.448	1.564
90	594	840	029	188	328	455	571
92	597	845	034	194	335	463	579
94	600	849	039	200	342	470	587
96	603	853	044	206	348	477	595
98	606	857	049	212	355	484	603
3.00	609	861	054	218	361	491	611
02	612	865	059	224	368	498	619
04	615	869	064	230	374	505	626
06	617	873	069	235	380	512	633
3.08	0.620	0.877	1.074	1.241	1.387	1.519	1.640
10	623	881	079	246	393	526	647
12	626	885	084	252	400	533	655
14	629	889	089	258	406	540	663
16	632	893	094	263	412	547	671
18	635	897	099	269	419	554	679
20	637	901	104	274	425	561	687
22	640	905	109	280	432	568	695
24	643	909	114	286	438	575	702
26	646	913	119	292	444	582	709
3.28	0.649	0.918	1.124	1.297	1.450	1.589	1.716
30	651	922	128	302	456	596	723
32	654	926	132	308	463	603	731
34	657	929	137	314	469	609	738
36	660	933	142	320	475	616	745
38	663	937	147	325	481	623	752
40	665	941	152	330	487	630	759
42	668	945	157	336	494	637	767
44	671	949	162	342	500	644	775
46	674	953	167	347	506	650	782
3.48	0.676	0.957	1.172	1.352	1.512	1.657	1.789
50	679	960	176	357	518	663	796
52	682	964	181	363	524	670	804
54	685	968	186	369	530	677	811
56	687	972	190	374	536	683	818
58	690	976	195	380	543	690	825

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PENDIENTE *i* POR METRO

0.00040	0.00045	0.00050	0 00060	0.00070	0.00080	0.00090	0.001
V	V	V	V	V	V	V	V
1.594	1.692	1.785	1.955	2.111	2.256	2.394	2.524
604	702	794	965	123	269	407	537
613	711	804	976	134	281	420	551
622	720	813	986	145	293	433	564
630	729	823	997	157	305	446	578
638	738	832	2.007	168	316	458	591
647	747	843	018	179	329	471	605
656	756	853	028	190	341	484	618
664	765	863	038	201	353	496	631
1.672	1.774	1.871	2.048	2.212	2.365	2.509	2.644
680	783	879	058	223	376	521	657
689	792	888	068	234	388	534	670
697	801	897	078	245	400	546	683
705	809	906	088	256	411	558	696
714	818	916	099	267	424	571	709
722	826	925	109	278	436	583	722
730	835	934	119	289	447	595	735
738	844	943	129	300	458	607	748
746	852	952	139	310	469	619	761
1.754	1.860	1.961	2.149	2.321	2.481	2.632	2.774
762	868	970	158	331	492	644	787
771	877	979	168	342	504	656	800
779	886	988	178	353	516	668	813
787	895	997	188	363	527	680	825
795	904	2.006	198	374	538	692	838
803	913	015	208	385	549	704	850
811	921	024	218	396	561	716	863
819	929	033	228	406	572	728	876
827	937	042	237	416	583	740	888
1.836	1.946	2.051	2.247	2.427	2.594	2.752	2 901
844	954	060	256	437	605	764	913
851	963	069	264	448	617	776	926
858	971	078	274	458	628	787	938
866	979	086	284	468	639	799	950
874	987	095	295	479	650	811	963
882	995	104	305	489	661	823	975
890	2.004	113	315	500	672	835	988
898	013	122	324	510	683	847	3.000
905	021	130	333	520	694	868	012
1.913	2.029	2.139	2.343	2.531	2.703	2.870	3.025
920	037	147	352	541	712	881	037
928	046	156	362	551	724	893	049
936	054	165	372	561	736	905	061
944	062	173	381	571	748	916	073
951	071	182	390	582	760	928	086

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXX

R	PENDIENTE *i* POR METRO						
	0.00005	0.00010	0.00015	0.00020	0.00025	0.00030	0.00035
	V	V	V	V	V	V	V
3.60	0.693	0.979	1.199	1.386	1 549	1.697	1.832
62	696	983	204	391	555	704	840
64	699	987	209	396	561	710	847
66	701	991	213	401	567	716	854
3.68	0.704	0.995	1 218	1.407	1.573	1.723	1.861
70	706	999	223	412	579	730	868
72	709	1.003	228	413	585	737	875
74	712	007	233	423	591	743	882
76	714	010	237	428	597	749	889
78	717	014	242	434	603	756	896
80	719	017	246	439	608	762	903
82	722	021	251	445	614	769	910
84	725	025	256	450	620	776	917
86	727	029	260	455	626	782	924
3.88	0.730	1.033	1.265	1.460	1.632	1.788	1.931
90	733	036	269	465	638	794	938
92	735	040	274	471	644	801	945
94	738	044	278	476	650	807	952
96	740	048	283	481	656	814	959
98	743	051	287	486	662	820	966
4.00	746	055	291	491	667	826	973
02	748	059	296	497	673	833	980
04	751	063	301	502	679	840	987
06	753	066	305	507	685	846	993
4.08	0.756	1.070	1.310	1.512	1.691	1.852	2.000
10	759	073	314	517	697	858	007
12	761	076	318	522	702	864	014
14	764	080	323	529	708	871	021
16	767	084	327	533	714	877	028
18	769	087	331	538	719	883	034
20	772	091	336	543	725	890	041
22	775	095	341	548	731	896	048
24	777	098	345	553	736	902	054
26	780	102	350	558	742	909	061
4.28	0.782	1.106	1.354	1.563	1.748	1.915	2.068
30	784	109	358	568	753	921	075

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PENDIENTE *i* POR METRO

0.00040	0.00045	0.00050	0.00060	0.00070	0.00080	0.00090	0.001
V	V	V	V	V	V	V	V
1.958	2.079	2.190	2.399	2.592	2.772	2.939	3.098
966	087	199	409	602	783	951	110
974	095	208	418	612	793	962	122
982	102	216	427	622	803	973	134
1.990	2.110	2.225	2.437	2.633	2.814	2.986	3.147
998	118	234	447	643	824	999	159
2.006	126	242	456	653	835	3.010	171
013	134	250	465	663	846	020	183
020	142	258	474	672	856	030	194
027	150	267	483	682	867	041	206
034	158	275	492	692	878	052	217
042	166	284	502	702	889	064	229
050	174	292	511	712	899	075	241
057	182	300	520	722	909	086	253
2.065	2.190	2.309	2.529	2.732	2.920	3.097	3.265
072	198	317	538	741	930	108	276
080	206	326	547	751	941	120	288
087	214	334	556	761	951	131	300
095	222	342	565	771	962	142	312
102	229	350	574	780	972	153	323
110	237	358	583	790	983	164	335
117	245	367	592	800	994	175	347
124	253	375	601	812	3.000	186	359
131	260	383	610	819	014	197	370
2.139	2.268	2.391	2.619	2.829	3.024	3.208	3.382
146	276	399	628	839	034	219	393
153	284	407	637	848	044	229	404
161	292	415	646	858	055	240	416
168	300	423	656	868	065	251	427
175	307	431	663	877	075	262	438
182	315	440	672	887	086	273	450
189	323	448	681	896	096	284	462
196	330	456	690	905	106	294	473
204	338	464	699	915	116	305	485
2.211	2.345	2.472	2.708	2.925	3.126	3.316	3.496
218	352	480	716	934	136	327	507

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

TABLA XXXI.- CANALES DE FÁBRICA.—Se ha calc

El radio medio de 0,08 ÷ 4,30, pendiente de 0,00005 ÷ 0,0

R	PENDIENTE *i* POR METRO						
	0.00005	0 .00010	0.00015	0.00020	0.00025	0.00030	0,00035
	V	V	V	V	V	V	V
0.08	0.066	0.094	0.115	0.133	0.148	0.162	0.175
10	079	112	137	158	167	193	209
12	092	129	159	183	205	224	242
14	103	146	179	206	231	252	273
16	114	162	198	229	256	280	303
18	125	177	217	250	280	306	331
20	136	192	235	271	303	332	359
22	146	206	252	291	326	356	385
24	155	220	268	311	348	380	411
26	165	233	285	330	369	404	436
0.28	0.174	0.246	0.302	0.348	0.389	0.427	0.461
30	183	259	317	366	409	449	485
32	192	271	332	384	429	470	508
34	201	283	347	401	448	491	531
36	209	295	362	418	467	512	553
38	217	307	376	434	485	532	574
40	225	318	390	450	503	552	595
42	233	330	404	466	521	571	616
44	241	341	417	481	539	590	637
46	249	352	430	497	556	609	657
0.48	0.256	0.362	0.443	0.512	0.573	0.627	0.677
50	264	373	456	527	590	645	697
52	271	383	469	542	606	663	717
54	278	393	482	556	622	681	736
56	285	403	494	570	638	698	755
58	292	413	506	584	654	715	773
60	299	423	518	598	669	732	791
62	306	433	530	612	684	749	809
64	313	442	542	625	699	766	827
66	319	451	553	638	713	782	844
0.68	0.326	0.461	0.564	0.651	0.728	0.798	0.862
70	332	470	575	664	743	814	879
72	338	479	586	677	757	829	896
74	345	488	597	690	771	845	913
76	351	497	608	702	785	860	929
78	357	505	619	714	799	875	945
80	363	514	630	726	813	890	961
82	369	523	640	738	826	905	977
84	375	531	650	750	839	920	993
86	381	540	661	762	853	935	1.009
0.88	0.387	0.548	0.671	0.774	0.866	0.949	1.025
90	393	556	681	786	879	963	040

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

do con la fórmula $v = \dfrac{87}{1 + \dfrac{\gamma}{\sqrt{R}}} \sqrt{R\,i}$ para $\gamma = 0{,}46$

or metro. R = radio medio. U = velocidad media.

PENDIENTE i POR METRO

0.00040	0.00045	0.00050	0.00060	0.00070	0.00080	0.00090	0.001
V	V	V	V	V	V	V	V
0.187	0.199	0.209	0.229	0.248	0.265	0.281	0.297
223	237	249	273	296	306	335	354
259	275	289	317	343	346	388	411
292	309	325	357	386	402	437	462
324	343	362	396	428	458	486	512
354	375	394	433	468	500	531	560
384	407	425	470	507	542	575	607
412	437	458	503	545	582	617	651
440	446	491	536	582	622	659	695
467	494	521	570	617	660	699	737
0.493	0.522	0.551	0.603	0.652	0.697	0.739	0.779
518	549	579	634	685	733	777	819
543	576	607	665	718	768	814	858
567	602	634	695	750	802	850	896
591	627	661	724	782	836	886	934
614	651	687	752	812	868	920	970
636	675	712	779	842	900	954	1.006
659	699	737	807	872	932	987	042
681	723	762	834	901	963	1.020	077
703	746	786	860	929	993	053	111
0.724	0.769	0.810	0.886	0.957	1.023	1.085	1.144
745	791	833	912	985	053	117	177
766	813	856	938	1.013	083	149	211
786	834	879	963	040	112	179	243
806	855	901	988	067	140	209	275
826	876	923	1.012	093	168	239	306
846	897	945	036	119	196	268	337
865	917	967	059	144	223	297	367
884	937	988	082	169	250	326	397
903	957	1.009	105	194	276	354	427
0.921	0.977	1.030	1.128	1.219	1.302	1.382	1.456
939	997	050	151	243	328	409	485
957	1.016	070	173	267	354	436	514
975	035	090	195	291	379	463	542
993	054	110	217	314	404	490	570
1.010	072	130	238	337	429	516	598
027	090	149	259	360	453	542	625
045	108	168	280	383	477	568	652
062	126	187	300	405	501	593	679
079	144	206	321	427	525	618	706
1.096	1.162	1.225	1.342	1.449	1.549	1.643	1.732
112	179	243	362	471	572	668	758

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXXI

R	PENDIENTE *i* POR METRO						
	0.00005	0.00010	0.00015	0.00020	0.00025	0.00030	0.00035
	V	V	V	V	V	V	V
0.92	0.399	0.664	0.891	0.798	0 892	0.977	1.055
94	405	572	701	809	905	991	070
96	410	580	710	820	927	1.005	085
98	416	588	720	832	930	019	100
1.00	422	596	730	843	943	033	115
02	427	604	739	854	955	046	129
04	432	612	749	865	967	060	144
06	438	620	759	876	979	073	158
1.08	0.443	0.627	0.768	0.886	0.991	1.086	1.172
10	449	635	777	897	1.003	099	187
12	454	642	786	908	015	112	201
14	459	649	795	918	027	125	215
16	465	657	804	929	039	138	229
18	470	664	813	939	050	151	243
20	475	671	822	949	061	163	256
22	480	678	831	959	073	175	269
24	485	686	840	969	085	188	283
26	490	693	849	979	096	200	296
1.28	0.495	0.700	0.858	0.989	1.107	1.212	1.309
30	500	707	866	999	118	224	322
32	505	714	875	1.009	129	236	335
34	510	721	884	019	140	248	348
36	515	728	892	029	151	260	361
40	520	735	900	039	162	272	374
40	524	741	908	048	172	284	387
42	529	748	916	058	183	296	400
44	534	755	924	068	194	308	413
46	539	762	932	077	205	320	425
1.48	0.544	0.769	0.940	1.086	1.215	1.331	1.437
50	548	775	948	095	225	342	449
52	553	782	956	105	236	354	462
54	557	789	964	114	246	365	474
56	562	795	972	123	256	376	486
58	567	801	980	132	266	387	498
60	571	807	988	141	276	398	510
62	576	814	996	150	286	409	522
64	580	820	1.004	159	296	420	534
66	585	827	012	168	306	431	546
1.68	0.589	0.833	1 020	1.177	1.316	1.442	1.558
70	593	839	027	186	326	452	569
72	598	845	035	195	336	463	581
74	602	851	043	204	346	474	592
76	606	857	050	212	355	484	603
78	611	863	058	224	365	495	615
80	615	869	065	230	375	506	627

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PENDIENTE *i* POR METRO

0.00040	0.00045	0.00050	0.00060	0.00070	0.00080	0.00090	0.001
V	V	V	V	V	V	V	V
1.128	1.197	1.261	1.382	1.493	1.595	1.692	1.784
144	214	279	402	514	618	716	809
160	231	297	421	535	641	740	834
176	248	315	441	556	664	764	859
192	265	333	460	577	686	788	884
207	281	350	479	597	708	811	909
223	297	367	498	618	730	834	934
238	313	384	517	638	752	857	958
1.253	1.329	1.401	1.535	1.658	1.773	1.880	1.982
268	345	418	554	678	794	903	2.006
283	361	435	572	698	815	926	030
298	377	452	590	718	836	948	053
313	393	469	608	738	857	970	076
328	409	485	626	757	878	992	099
342	424	501	644	776	898	2.014	122
357	439	517	662	795	918	035	145
372	454	533	680	814	939	057	168
386	469	549	697	833	959	078	191
1.400	1.484	1.565	1.714	1.852	1.979	2.099	2.213
414	499	580	731	870	999	120	235
428	514	596	748	889	2.019	141	257
442	529	612	765	907	039	162	279
456	544	627	782	925	059	183	301
469	558	642	799	943	078	204	323
482	572	657	816	961	097	224	344
496	587	672	832	979	116	244	365
510	601	687	848	997	135	264	386
523	615	702	864	2 015	154	284	407
1.536	1.629	1.717	1.880	2.032	2.173	2.304	2.428
549	643	732	896	049	191	324	449
562	657	747	912	067	210	344	470
575	671	762	928	084	229	364	491
588	685	776	944	101	247	383	512
601	699	790	960	118	265	402	532
614	712	804	976	135	283	421	552
627	726	819	992	152	301	440	572
640	740	833	2.008	169	319	459	592
653	753	847	024	186	337	478	612
1.665	1.766	1.861	2.039	2.202	2.355	2.497	2.632
677	779	875	054	218	372	516	652
690	792	889	069	235	390	535	672
702	805	903	084	251	407	553	691
714	818	916	099	267	424	571	710
727	831	930	114	284	442	590	730
739	844	944	129	300	459	608	749

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXXI

R	PENDIENTE *i* POR METRO						
	0 00005	0.00010	0.00015	0 00020	0.00025	0 00030	0.00035
	V	V	V	V	V	V	V
1.82	0.619	0.875	1.072	1.238	1.384	1.516	1.638
84	623	881	079	246	393	526	649
86	628	887	087	255	403	537	660
1.88	0.632	0.893	1.094	1.264	1.413	1.547	1.671
90	636	899	101	272	422	557	682
92	640	905	109	280	431	568	693
94	644	911	116	288	441	578	704
96	648	917	123	296	450	588	715
98	652	923	130	304	459	598	726
2.00	657	929	137	313	468	608	737
02	661	935	144	321	477	618	748
04	665	941	151	329	486	628	759
06	669	946	158	337	495	638	769
2.08	0.673	0.952	1.165	1.345	1.504	1.648	1.780
10	677	957	172	353	513	658	790
12	681	963	179	361	522	668	801
14	685	968	186	369	531	677	811
16	689	974	193	377	540	687	822
18	693	979	200	385	549	697	832
20	697	985	207	393	557	707	842
22	700	990	213	401	566	716	853
24	704	996	220	409	575	726	864
26	708	1.001	227	417	584	735	874
2.28	0.712	1.007	1.234	1.425	1.593	1.744	1.884
30	716	012	240	432	601	753	894
32	720	018	247	440	610	763	903
34	724	023	253	447	618	772	913
36	728	028	260	454	626	781	923
38	731	033	266	461	634	790	933
40	735	039	273	469	643	800	944
42	739	044	279	477	651	809	954
44	743	050	286	485	660	818	964
46	746	055	292	492	668	827	974
2.48	0.750	1.061	1.299	1.500	1 677	1.837	1.984
50	754	066	305	507	685	846	994
52	757	071	312	515	693	855	2.004
54	761	076	318	522	701	864	013
56	765	082	325	530	710	873	023
58	768	087	331	537	718	882	033
60	772	092	337	544	726	891	043
62	775	097	343	551	734	899	052
64	779	102	350	559	742	908	062
66	783	107	356	566	750	917	071
2.68	0.787	1.112	1.362	1.573	1.758	1.926	2.080

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PENDIENTE *i* POR METRO

0.00040	0.00045	0.00050	0.00060	0.00070	0.00080	0.00090	0.001
V	V	V	V	V	V	V	V
1.752	1.857	1.948	2.144	2.316	2.476	2.626	2.768
765	869	971	158	332	493	644	787
776	882	984	173	348	510	663	806
1.787	1.895	1.997	2.188	2.364	2.527	2.681	2.825
798	907	2 010	202	380	543	699	844
810	920	024	217	395	560	717	862
822	933	037	231	411	576	734	881
834	945	050	246	426	592	751	899
845	957	063	260	441	609	768	917
857	970	076	274	456	625	787	936
869	982	089	288	471	642	804	954
880	994	102	302	486	659	821	972
891	2.006	114	316	501	675	837	990
1.902	2.018	2.127	2.330	2.517	2.691	2.854	3.008
913	030	140	344	532	707	871	026
925	042	153	358	547	723	888	044
936	054	165	372	562	739	905	062
948	066	178	386	577	755	921	080
959	078	190	399	592	770	938	097
970	090	203	413	607	786	954	115
981	101	215	426	621	801	971	132
992	113	228	440	636	817	988	149
2.003	125	240	453	650	832	3.004	167
2.014	2.137	2.252	2.467	2.664	2.848	3.021	3.184
025	148	264	480	678	863	037	202
036	159	276	493	692	878	053	219
046	170	288	506	706	893	069	235
057	181	300	519	720	908	085	252
067	192	311	532	734	923	101	268
078	204	323	545	749	939	117	285
089	215	335	558	763	954	133	302
100	227	347	571	777	969	149	319
110	238	359	584	791	984	165	336
2.121	2.249	2 371	2.597	2.805	2.999	3.181	3.353
131	260	383	610	819	3.014	197	370
142	271	395	623	833	029	213	387
152	282	406	636	847	043	228	403
163	293	418	649	861	058	244	420
173	304	429	661	875	073	259	436
183	315	441	674	889	098	275	452
193	326	452	686	902	102	290	468
204	337	464	699	916	117	306	484
214	348	475	711	929	131	321	500
2.224	2.359	2.487	2.724	2.942	3.145	3.336	3.516

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXXI

R	PENDIENTE *i* POR METRO						
	0.00005	0.00010	0.00015	0.00020	0.00025	0.00030	0.00035
	V	V	V	V	V	V	V
2.70	0.790	1.117	1.368	1.580	1.766	1.935	2.089
72	794	122	374	587	774	944	098
74	797	127	380	594	782	952	108
76	801	132	386	601	790	960	118
78	804	137	392	608	798	969	127
80	808	142	399	615	806	978	136
82	811	147	405	622	814	986	146
84	815	152	411	629	822	995	155
86	818	157	417	636	829	2 003	164
2.88	0.822	1.162	1.423	1.643	1.837	2.012	2.173
90	825	167	429	650	845	020	182
92	829	172	435	657	853	029	191
94	832	176	441	663	860	037	200
96	836	181	447	670	868	046	209
98	839	186	453	677	875	054	218
3.00	842	191	459	684	883	063	327
02	845	195	464	691	890	071	236
04	849	200	470	698	898	080	245
06	852	205	476	705	905	088	254
3.08	0.857	1.210	1.482	1.712	1.913	2.096	2.263
10	859	214	487	718	920	104	272
12	863	219	493	725	928	112	281
14	866	224	499	734	935	120	290
16	869	229	505	738	943	128	299
18	872	283	510	744	950	136	307
20	876	238	516	750	958	144	316
22	879	243	522	757	965	152	325
24	882	248	528	763	972	160	334
26	885	252	533	770	979	168	342
3 28	0.889	1.257	1.539	1.777	1.987	2.176	2.351
30	892	261	545	783	994	184	359
32	895	266	551	790	2.001	192	368
34	898	270	556	796	008	200	376
36	902	275	562	803	016	208	385
38	905	279	567	809	023	216	393
40	908	284	573	816	030	224	402
42	911	288	578	822	037	232	410
44	915	293	584	829	045	240	419
46	918	297	589	835	052	248	427
3.48	0.921	1.302	1.595	1.842	2.059	2.256	2.436
50	924	306	600	848	066	263	444
52	927	311	606	855	073	271	453
54	930	315	611	861	080	279	461
56	933	320	617	867	087	287	469
58	936	324	622	873	094	294	477

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PENDIENTE *i* POR METRO

0.00040	0.00045	0.00050	0 00060	0.00070	0.00080	0.00090	0.001
V	V	V	V	V	V	V	V
2.234	2.369	2.498	2.736	2.955	3.159	3.351	3.532
244	380	509	749	969	174	366	548
254	390	520	761	982	188	381	564
264	400	531	773	995	202	396	580
274	411	542	785	3.008	216	411	595
284	421	553	797	021	230	426	611
294	432	564	809	034	244	441	627
304	443	575	821	047	258	456	643
313	454	586	833	060	272	470	658
2.323	2.465	2.597	2.845	3.073	3.286	3.485	3.674
333	475	608	857	086	300	500	689
343	485	619	869	099	214	515	704
352	495	630	881	112	327	529	719
362	505	641	893	125	341	544	735
372	516	652	905	138	354	558	750
382	526	663	917	151	367	572	765
391	536	673	928	163	381	586	780
401	546	684	940	176	395	601	796
410	556	695	952	189	408	615	811
2.420	2.566	2.706	2.964	3.201	3.422	3.629	3.826
429	576	716	975	213	435	643	841
439	585	727	987	226	449	658	856
448	594	737	998	238	462	672	871
458	604	748	3.010	251	475	686	886
467	614	758	021	263	488	700	900
477	625	769	033	276	502	714	915
486	635	779	044	288	515	728	930
495	646	789	055	300	529	742	945
504	656	799	066	312	541	756	959
2.513	2.666	2.810	3.077	3.325	3.554	3.770	3 974
522	676	820	089	337	567	784	988
531	686	830	100	349	580	798	4.003
540	695	840	111	361	593	811	017
550	705	851	122	373	606	825	032
559	714	861	133	385	619	838	046
568	724	871	144	397	632	852	060
577	733	881	155	409	644	865	074
586	743	891	167	421	657	879	089
595	752	901	178	433	670	892	103
2.603	2.762	2.911	3.189	3.445	3.683	3.906	4.117
612	771	921	200	456	695	919	131
621	781	931	211	468	708	933	145
630	790	941	222	480	720	946	159
639	800	951	233	492	733	960	173
648	809	961	244	503	745	973	187

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXXI

R	PENDIENTE *i* POR METRO						
	0.00005	0.00010	0.00015	0.00020	0.00025	0.00030	0.00035
	V	V	V	V	V	V	V
3.60	0.940	1.329	1.628	1.880	2 101	2.302	2.486
62	943	333	633	886	108	309	494
64	946	338	638	892	115	317	502
66	949	342	643	898	122	324	510
3.68	0.952	1.347	1 649	1.904	2.129	2.332	2.519
70	955	351	654	910	136	339	527
72	958	355	660	916	143	347	535
74	961	359	665	922	149	354	543
76	964	363	671	929	156	362	551
78	967	368	676	935	163	369	559
80	970	372	682	941	170	377	567
82	973	376	686	947	176	384	575
84	976	381	691	953	183	392	583
86	979	385	696	959	190	399	591
3.88	0.982	1.389	1.701	1.965	2.197	2.406	2.599
90	985	394	707	971	204	414	607
92	988	398	712	977	210	421	615
94	991	402	717	983	217	429	623
96	994	406	722	989	223	436	631
98	997	411	728	995	230	444	639
4 00	1.000	415	733	2.001	237	451	647
02	003	419	738	007	244	458	655
04	006	423	743	012	250	465	662
06	009	428	748	018	257	473	670
4.08	1.012	1.432	1.753	2.024	2.263	2.480	2.678
10	015	436	758	030	270	487	686
12	018	440	763	036	276	494	693
14	021	444	768	042	283	501	701
16	024	448	773	048	289	508	709
18	027	452	778	054	296	515	717
20	030	456	783	059	302	522	724
22	033	461	788	065	309	529	732
24	036	465	793	071	315	536	739
26	039	469	798	077	322	543	747
4.28	1.042	1.473	1.803	2.083	2.328	2.550	2.755
30	044	477	808	088	334	557	762

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PENDIENTE *i* POR METRO

0.00040	0.00045	0.00050	0.00060	0.00070	0.00080	0 00090	0.001
V	V	V	V	V	V	V	V
2.657	2.819	2.971	3.255	3.515	3.758	3.986	4.201
666	828	981	266	527	770	999	215
675	837	991	277	539	783	4.012	229
684	846	3.000	287	550	795	025	243
2.693	2.856	3.010	3.298	3 562	3.808	4.039	4.257
701	865	020	308	574	820	052	271
710	874	030	319	586	832	065	285
718	883	039	330	597	844	078	298
727	893	049	341	609	857	091	312
736	902	059	352	620	869	104	326
745	911	169	363	631	881	117	340
753	920	078	373	642	893	129	353
762	929	088	383	653	905	142	367
771	938	098	393	664	917	155	380
2.779	2.947	3.107	3.403	3.675	3.929	4.168	4.393
788	956	117	414	687	941	181	407
796	965	126	424	698	953	194	420
804	974	135	435	710	965	207	434
812	983	144	445	721	977	219	447
821	992	154	456	732	989	232	461
829	3.001	163	466	743	4.001	244	474
838	010	173	476	754	013	257	487
846	019	182	486	765	025	269	500
855	028	191	496	776	037	282	513
2.863	3.037	3.201	3.506	3.787	4.049	4.294	4.526
871	045	210	516	798	061	307	539
879	054	219	526	809	072	319	552
888	063	229	537	820	084	332	566
896	072	238	547	831	096	344	579
904	081	247	557	842	108	356	592
912	089	256	567	853	119	368	605
921	098	265	577	864	131	381	618
929	106	275	587	875	142	393	631
937	115	284	597	886	154	406	644
2.945	3.124	3.293	3.607	3.897	4.165	4.418	4.657
953	132	302	617	907	176	430	669

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

100.— *Máxima economía en los tubos circulares.*

A) Sección de máximo gasto.—Se demuestra que el ángulo en el centro para estas condiciones debe ser $\varphi_1 = 52^0$.

Se deduce de ello:

$$\omega = 0{,}7705\ D^2;$$

$$c = 2{,}6875\ D; \qquad R_m = 0{,}28666\ D.$$

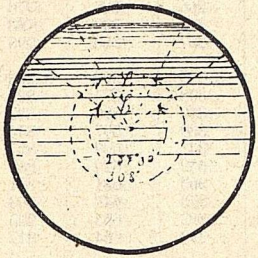


Fig. 28.

B) Sección de máxima velocidad.—Entonces debe ser

$$\varphi = 102^0{,}30'.$$

Se deduce

$$\omega = 0{,}6847\ D^2;$$

$$c = 2{,}2473\ D; \qquad R_m = 0.30467\ D.$$

En las dos tablas siguientes se han reunido todos los elementos que sirven para el cálculo de las secciones de máximo gasto y máxima velocidad.—Se supone en dichas tablas la velocidad igual á 1.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXXII.—Cálculo de las secciones de máximo gasto

$\varphi = 52^0$							$U = 1^m,00$	
Diámetro.	$A = \frac{Q}{U}$ $A = D^{2}0,7705$	$C = D\ .\ 2\ 6579$	$R = \frac{A}{C}$	$\sqrt{R}$	$\gamma = \frac{87}{1 + \frac{0,06}{\sqrt{R}}}$		$\sqrt{i} = \frac{1}{\gamma\sqrt{R}}$	i
0,15	0,017385	0,403185	0,043	0,2073	67,49		0,07143	0,00510
0,16	0,01972	0,420064	0,04585	0,214	67,97		0,0689	0,00475
0,17	0,02227	0,45694	0,04873	0,2207	68,40		0,0663	0,00439
0,18	0,02496	0'48582	0,05138	0,2266	68,69		0,0643	0,00414
0,19	0,02781	0 51060	0,05447	0,2334	69,24		0,0619	0,00383
0,20	0,03082	0,53748	0,0573	0'23946	69,68		0,0599	0,00359
0,21	0,03398	0,56446	0,0602	0,24535	69,94		0,0582	0,00339
0,22	0,03729	0,591338	0,06306	0,2511	70,22		0,0567	0,00321
0,23	0,04076	0,61822	0,06604	0,257	70,54		0,0551	0,00304
0,24	0,04438	0,645096	0,06879	0,2623	70,85		0,0538	0,00289
0,25	0,04815	0,67197	0,07166	0,2677	71.08		0,0526	0,00267
0,26	0,05208	0,698854	0,07453	0,2730	71,37		0,0513	0,00263
0,27	0,05610	0,725733	0,07739	0,2782	71,61		0,0501	0,00251
0,28	0,06040	0,752612	0,08026	0,2833	71,80		0,0441	0,00241
0,29	0,06480	0,779491	0,08313	0,2883	72,02		0,0481	0,00231
0,30	0,06934	0,80637	0,086	0,2932	72,22		0,0473	0,00223
0 31	0,07404	0,833249	0,8886	0,2981	72,42		0,0463	0,00214
0,32	0,07888	0,800128	0,09171	0,3028	72,62		0,0455	0,00207
0,33	0,08391	0,887007	0,09459	0,30757	72,81		0,0447	0,00200
0,34	0,08907	0,913886	0,09746	0,3122	72,09		0,0439	0,00193
0,35	0,09438	0,840765	0,10033	0,3168	73,15		0,04315	0,00186
0,36	0,09985	0,967644	0,1032	0,3212	73,42		0,0434	0,00180
0,37	0,10548	0,994525	0,10625	0,3256	73,47		0,0418	0,00175
0,38	0,11120	0,021402	0,1089	0,330	73,62		0,04116	0,00169
0,39	0,11719	0,048281	0,1116	0,3341	73,77		0,0495	0,00164
0,40	0,12328	0,07516	0,1146	0,3386	73,92		0,0400	0,00160
0,41	0,12952	0,10204	0,11753	0,3428	74,04		0,0394	0,00155
0,42	0,13592	0,12891	0,1204	0,347	74,18		0,0389	0,00151
0,43	0,14246	0,1558	0,1239	0,3511	74,38		0,0383	0,00147
0,44	0,14916	0,18267	0,1261	0,3551	74,43		0,0378	0,00143
0,45	0,15602	0,2095	0,129	0,359	74,55		0,0375	0,00141
0,46	0,16304	0,2364	0,1318	0,3631	74,68		0,0369	0,00136
0,47	0,17020	0,2633	0,1347	0,367	74,775		0,0364	0,00132
0,48	0,17752	0,2902	0,1376	0,3709	74,89		0,0361	0,00130
0,49	0,18509	0.317	0,1405	0,3748	74,99		0,03555	0,00127
0,50	0,19262	0,34395	0,1433	0,3786	75,10		0,035	0,00122
0,51	0,20040	0,370829	0,1462	0,3823	75.195		0,0348	0,00121
0,52	0,20854	0,397708	0,1491	0,3861	75,30		0,0344	0,00118
0,53	0,21643	0,424587	0,1519	0,3898	75,40		0,0341	0,00116
0,54	0,22467	0,451466	0,1548	0,3934	75.49		0,0337	0,00113
0,55	0,23307	0,479345	0,15755	0,3969	75,57		0,0333	0,00111
0,56	0,24163	0,505224	0,16054	0,4006	75,65		0,0330	0,00109
0,57	0,25033	0.522103	0,1645	0,4055	75,77		0,0325	0,00106
0,58	0,25920	0,558982	0,1663	0,4078	75,85		0,0323	0 00104
0,59	0,26820	0,585861	0,16913	0,4112	75,93		0,0320	0,00102
0,60	0,27737	0,612740	0,172	0,4142	76,01		0,03175	0,00100

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXXIII.— Cálculo de las secciones de máxima velocidad.

$\varphi = 102°,30'$						$U = 1^m,00$	
Diámetro.	$A = D^2 0,6847$ $A = \frac{Q}{U}$	$C = D\,2,2473$	$R_m = \frac{A}{C}$	$\sqrt{R_m}$	$\gamma = \frac{87}{1 + \frac{0,06}{\sqrt{R_m}}}$	$\sqrt{i} = \frac{1}{\gamma\sqrt{R_m}}$	i
0,15	0,01154	0,33709	0,04568	0,2127	67,95	0,06890	0,004747
0,16	0,01752	0,35957	0,04872	0,2205	68,45	0,06625	0,004388
0,17	0,01979	0,38204	0,05180	0,2276	69,00	0,06369	0,004042
0,18	0,02218	0,40451	0,05472	0,2330	69,24	0,06175	0,003813
0,19	0,02472	0,43669	0,05788	0,2406	68,63	0,05968	0,003558
0,20	0,02739	0,44946	0,05093	0,3468	70,00	0,06780	0,003340
0,21	0,03019	0,47193	0,06703	0,2529	70,35	0,05620	0,003158
0,22	0,03314	0,49441	0,07007	0,2589	70,64	0,05470	0,002992
0,23	0,03622	0,51688	0,07312	0,2647	70,92	0,05328	0,002838
0,24	0,03944	0,53935	0,07618	0,2704	71,20	0,05195	0,002698
0,25	0,04280	0,56182	0,07922	0,2760	71,48	0,05070	0,002570
0,26	0,04629	0,58430	0,08225	0,2815	71,72	0,04953	0,002453
0,27	0,04901	0,60677	0,08531	0,2868	71,96	0,04856	0,002357
0,28	0,05363	0,62924	0,08835	0,2921	72,20	0,04735	0,002242
0,29	0,05758	0,65172	0,09140	0,2972	72,44	0,04645	0,002157
0,30	0,06162	0,67419	0,09466	0,3023	72,62	0,04556	0,002075
0,31	0,06595	0,69666	0,09466	0,3076	72,80	0,04464	0,001993
0,32	0,07011	0,71914	0,09749	0,3122	72,99	0,04382	0,001911
0,33	0,07456	0,74161	0,10054	0,3171	73,17	0,04310	0,001857
0,34	0,07915	0,76408	0,10360	0,3218	73,35	0,04237	0,001795
0,35	0,08388	0,78655	0,10664	0,3266	73,54	0,04160	0,001730
0,36	0,08874	0,8 903	0,10970	0,3312	73,67	0,04098	0,001680
0,37	0,09374	0,84150	0,11274	0,3358	73,86	0,04032	0,001626
0,38	0,09887	0,85397	0,11577	0,3402	73,98	0,03970	0,001576
3,39	0,10418	0,87644	0,11887	0,3448	74,17	0,03910	0,001528
0,40	0,10955	0,89892	0,12210	0,3494	74,23	0,03855	0,001487
0,41	0,11510	0,92139	0,12492	0,3534	74,42	0,03902	0,001445
0,42	0,12080	0,94386	0,12709	0,3573	74,58	0,03750	0,001406
0,43	0,12660	0,86634	0,13101	0,3620	74,68	0,03699	0,001368
0,44	0,13255	0,98881	0,13450	0,3661	74,74	0,03653	0,001334
0,45	0,13865	1,01128	0,13710	0,3703	74,87	0,03610	0,001303
0,46	0,14490	1,03375	0,14017	0,3744	75,00	0,03557	0,001270
0,47	0,15110	1,05623	0,14306	0,3782	75,13	0,03521	0,001240
0,48	0,15775	1,07870	0,14624	0,3824	75,26	0,03478	0,001210
0,49	0,16440	1,10117	0,14931	0,3864	75,33	0,03436	0,001180
0,50	0,17110	1,12365	0,15228	0,3902	75,46	0,03398	0,001155
0,51	0,10810	1,14612	0,15540	0,3942	75,53	0,03361	0,001128
0,52	0,18514	1,16859	0,15843	0,3980	75,65	0,03320	0,001102
0,53	0,19233	1,19100	0,16150	0,4018	75,72	0,03285	0,001079
0,54	0,19996	1,21354	0,16453	0,4056	75,85	0,03250	0,001063
0,55	0,20712	1,23601	0,16758	0,4093	75,92	0,03220	0,001036
0,56	0,21472	1,25849	0,17064	0,4131	75,98	0,03181	0,001011
0,57	0,22246	1,28096	0,17366	0,4167	76,05	0,03153	0,000995
0,58	0,23033	1,30343	0,17670	0,4204	76,18	0,03125	0,000977
0,59	0,23834	1,32590	0,16977	0,4220	76,22	0,03093	0,000956
0,60	0,24649	1,34838	0,18280	0,4276	76,30	0,03065	0,000940

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N. B.—En la columna 2.ª de la 1.ª tabla se ha suprimido $R = 0{,}280608$, y en las columnas 4.ª, 5.ª, 6.ª y 7.ª se sustituye R por R_m.

101. *Máxima economía en los tubos ovoidales.*—En las secciones ovoidales de forma cualquiera para tener el nivel que da el gasto máximo se calculan los gastos para diversas alturas, y se construye un diagrama que tenga por abscisas las alturas y cuya ordenada máxima corresponde al nivel buscado (véase fig. 29).

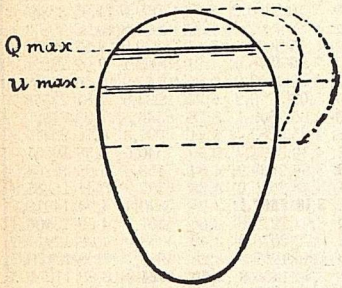


Fig. 29

Análogamente se procede para obtener las secciones de máxima velocidad.

102. *Cálculo del gasto en las secciones de perfil ovoidal.*— Las tablas siguientes se refieren, particularmente, al cálculo de las secciones ovoidales en el caso ordinario de la construcción de alcantarillas. Se ha empleado la fórmula abreviada de Ganguillet y Kutter (Núm. 89—(17 *b*) admitiendo para coeficiente $m = 0{,}25$.

Tabla XXXIV.—Sección ovoidal, llena hasta la imposta de la bóveda.

d = diámetro de la sección de la bóveda;
h = altura total de la sección.

Relación entre d y h en las construcciones ordinarias $\frac{d}{h} = \frac{2}{3}$;

Q = gasto;
U = velocidad media.
$R_m = 0{,}3157\ d$ = radio medio de la sección.
$\omega = 0{,}7558\ d^2$ = area de la sección.

Fórmulas usadas para el cálculo.

$$U = \gamma\sqrt{R_m i} \qquad \gamma = \frac{100\sqrt{R_m}}{0{,}25 + \sqrt{R_m}} \qquad Q = 7.58\,\gamma\sqrt{R_m{}^5 i}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pendiente por metro.	$d = 0{,}60$ $h = 0{,}90$		$d = 0{,}80$ $h = 1{,}20$		$d = 1{,}00$ $h = 1{,}50$		$d = 1{,}40$ $h = 2{,}10$		$d = 2{,}00$ $h = 3{,}00$	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
0,10000	8,74	2375,7	10,62	5130,2	12,30	9284,2	15,29	22619,9	19,13	57755,8
0,06667	7,14	1939,7	8.67	4188,8	10,04	7580,4	12,49	18469,1	15,62	47157,4
0,05000	6,18	1679,9	7,51	3627,6	8,70	6564,9	10,81	15994,7	13,53	40830,5
0,04000	5,53	1502,5	6,72	3244,7	7,78	5871,8	9,67	14306,1	12,10	36528,0
0,03330	5,05	1371.6	6,13	2961,9	7,10	5360,2	8,83	13059,6	11,05	33345,4
0,02857	4,67	1269,6	5,68	2742,2	6,58	4962,6	8,17	12090,8	10,23	30871,8
0,02500	4,37	1187,8	5,31	2565,1	6,15	5642,1	7,65	11309,9	9,57	28877,9
0,02222	4,12	1119,9	5,01	2418,4	5,80	4376,6	7,21	10663,1	9,02	27226,4
0,02000	3,91	1062,4	4,75	2294,3	5,50	4152,0	6,84	10115,9	8,56	25829,2
0,01667	3,57	969,9	4,34	2094,4	5,02	3790,2	6,24	9234,6	7,81	23578,7
0,01429	3,30	897,9	4,01	1939,0	4,65	3509,1	5,78	8540,5	7,23	21829,7
0,01250	**3,09**	**839,9**	3.76	1813,8	4,35	3282.4	5,41	7997,3	6,76	20419,8
0,01111	2.92	791,9	3.54	1710,1	4,10	3094.7	5,10	7540,0	6,38	19251,9
0,01000	2,77	751,3	**3,36**	**1622,3**	3,89	2935,9	4,84	7153,0	6.05	18264,0
0,00800	2,47	671,9	3,00	1451,1	3,48	2626,0	4.33	6397.9	5,41	16335,8
0,00667	2.26	613,4	2,74	1324,6	**3,18**	**2397,1**	3,95	5840,4	4,94	14912,5
0,00571	2,09	567.9	2,54	1226,4	2,94	2219,3	3,66	5407,2	4.59	13806,3
0,00500	1,96	531,2	2,38	1147,2	2,75	2076,0	3,42	5058,0	4,28	12914 6
0,00444	1,84	509,8	2,24	1081,5	2,56	1957.3	3,22	4768,7	4,03	12176,0
0,00400	1,75	475,1	2.12	1026,1	2,46	1856,8	**3,60**	**4524,0**	3,83	11551,2
0,00364	1,67	453,0	1,03	978,3	2,32	1770,4	2,92	4313,4	3,65	11013,6
0,00333	1,60	433,7	1,94	939,7	2,25	1695,1	2,79	4129,8	3,49	10544,7
0,00308	1,53	416,7	1,86	899,9	2,16	1628,6	2,68	3967,8	3,36	10131,0
0,00286	1 48	401,6	1,80	867,2	2,08	1569,3	2,58	3823,5	3.23	9762'5
0,00267	1,43	387,9	1,74	837,8	2,01	1516,1	2,50	3693,8	3,12	9431,5
0,00250	1,38	375,6	1,68	811,2	1,95	1467,8	2,42	3576,5	**3,03**	**9132,0**
0,00225	1,34	364,4	1,63	786,9	1,89	1424,1	2,35	3469,7	2,94	8859,3
0,00222	1,30	354,1	1,58	764 8	1,83	1384,0	2,28	3372,0	2,85	8609,7
0,00210	1,27	344,7	1,54	744,4	1,78	1347,1	2,22	3282,0	2,78	8380,1
0,00200	1,24	336,0	1,50	725,5	1,74	1313,0	2,16	3198,9	2,71	9167,9
0,00182	1,18	320,3	1,43	691,8	1,66	1251,9	2,06	3050.1	2,58	7787,8
0,00167	1,13	306,7	1,37	662,3	1,69	1198,6	1,97	2920,2	2,47	7456,3
0,00154	1,09	294,7	1 32	636,3	1,53	1151,6	1,90	2805,7	2.37	7163.7
0,00143	1,05	283,9	1,27	613,2	1,47	1109,4	1,83	2703,6	2,29	6903,1
0,00133	1,01	274,3	1,23	592,4	1,42	1072,0	1,77	2611,9	2,21	6669,1
0,00125	0,98	265,6	1,19	573,6	1,38	1038,0	1,71	2529,0	2,14	6457,3
0,00117	0,95	257,7	1,15	556,5	1,34	1007,0	1,66	2453,5	2,08	6264,5
0,00111	0,92	250,4	1,12	540,8	1,30	978.6	1,61	2384,3	2,02	6088,0
0,00105	0,90	243,7	1,09	226,4	1,26	952,5	1,57	2320,8	1,96	5925,6
0,00100	0,87	238,6	1,06	513,6	1,23	928,4	1,53	2262,0	1,91	5775,6
0,00091	0,83	226,5	1,01	489,2	1,17	885,2	1,46	2156,7	1,82	5506,8
0,00083	0,80	216,9	0,97	468,3	1,12	847,5	1,40	2064,9	1,75	5272,4
0,00077	0.77	208,4	0,93	450,0	1,08	814,3	1,34	1983,9	1,65	5065,5
0,00071	0,74	200,8	0,99	433,6	1,04	784,7	1,29	1911,7	1,62	4881,3
0,00066	0,71	194,0	0,87	418,9	1,00	758,0	1,25	1846,9	1,56	4715,7
0,00062	0,69	187,8	0,84	405,6	0,97	734,0	1,21	1788.3	1,51	4566 0
0,00059	0,67	182,2	0,81	393,5	0,94	712,1	1,17	1784,9	1,47	4429,7
0,00056	0,65	177,1	0,79	382,4	0,92	692,0	1,14	1686,0	1,43	4304,9
0,00053	0,63	172,4	0,77	372,2	0,89	673,5	1,11	1641,0	1.39	4190,1
0,00050	0.62	168,0	0,75	362,8	0,87	656,5	1,08	1599,5	1,35	4084,0

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXXV.—Sección ovoidal completamente llena

d = diámetro de la sección de la bóveda;
h = altura total de la sección.

Relación entre d y h usada en las construcciones ordinarias

$$\frac{d}{h} = \frac{2}{3};$$

Q = gasto;
U = velocidad media;
$R_m = 0,2896\, d$ = radio medio de la sección;
$\omega = 1,39853\, d^2$ = área de la sección.

Fórmulas usadas para el cálculo.

$$U = \gamma\sqrt{R_m i} \qquad \gamma = \frac{100\sqrt{R_m}}{0,25 + \sqrt{R_m}} \qquad Q = 13,98\,\gamma\sqrt{R_m{}^5 i}$$

Pendiente por metro.	$d = 0,60$ $h = 0,90$		$d = 0,80$ $h = 1,20$		$d = 1,00$ $h = 1,50$		$d = 1,40$ $h = 2,10$		$d = 2,00$ $h = 3,00$	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
0,10000	8,24	3406,1	10,01	7361,2	11,62	13348,0	14,46	32541,7	18,12	83246,6
0,06667	6,73	2781,1	8,18	6010,4	9,49	10898,7	11,80	26570,2	14,80	67970,6
0,05000	5,83	2408,5	7,08	5205,1	8,22	9433,5	10,22	23010,5	12,81	58864,2
0,04000	5,21	2154,2	6,33	4655,6	7,35	8442,0	9,14	20581,2	11,46	52649,8
0,03333	4,76	1966,5	5,78	4250,0	6,71	7706,5	8,35	18788,0	10,46	48062,4
0,02857	4,40	1820,6	5,35	3934,7	6,21	7134,8	7,73	17294,3	9,69	44497,2
0,02500	4,12	1703,0	5,01	3680,6	5,81	6674,0	7,23	16270,9	9,06	41623,3
0,02222	3,88	1605,6	4,72	3470,1	5,48	6292,3	6,81	15340,3	8,54	39242,8
0,02000	3,68	1523,2	4,48	3292,0	5,20	5969,4	6,47	14552,1	8,10	37229,0
0,01667	3,36	1390,5	4,09	3005,2	4,74	5449,3	5,90	13285,1	7,40	33985,3
0,01429	3,11	1289,4	3,79	2782,3	4,39	6045,1	5,46	12299,6	6,85	31464,3
0,01250	2,91	1202,4	3,54	2602,6	4,11	4719,2	5,11	11505,1	6,41	29432,1
0,01111	2,75	1135,4	3,34	2453,7	3,87	4449,3	4,82	10847,3	6,04	27748,9
0,01000	2,61	1077,1	3,17	2327,8	3,68	4221,0	4,57	10290'6	5,78	26324,9
0,00800	2,33	963,4	2,83	2082,1	3,29	3775,4	4,09	9204,2	5,13	23345,7
0,00667	2,13	879,4	2,59	1900,6	3,00	3446,4	3,63	8402,2	4,68	21494,2
0,00571	1,97	814,2	2,39	1759,7	2,78	3190,8	3,46	7779,0	4,33	19899,7
0,00500	1,84	761,6	2,24	1646,0	2,60	2934,7	3,23	7276,6	4,05	18614,5
0,00444	1,74	718,1	2,11	1551,9	2,45	2814,0	3,05	6860,4	3,82	17549,9
0,00400	1,65	681,2	2,00	1472,2	2,32	2669,6	2,89	6508,4	3,62	16649,3
0,00364	1,57	649,5	1,91	1403,7	2.22	2545,9	2,76	6205,5	3,46	15874,5
0,00333	1,50	621,9	1,83	1344,0	2'12	2437,0	2,64	5941,3	3,31	15198,7
0,00308	1,45	597,5	1,76	1291,2	2,04	2341,4	2,54	5708,2	3,18	14602,4
0,00286	1,39	575,7	1,69	1244,3	1,96	2256,2	2,44	5500,6	3,06	14071,2
0.00267	1,35	556,2	1,64	1202,1	1,90	2179,7	2,36	5314,0	2,96	13594,1

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pendiente por metro	$d = 0{,}60$ $h = 0{,}90$		$d = 0{,}80$ $h = 1{,}20$		$d = 1{,}00$ $h = 1{,}50$		$d = 1{,}40$ $h = 2{,}10$		$d = 2{,}00$ $h = 3{,}00$	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
0,00250	1,90	538,5	1,58	1163,9	1.84	2110,5	2,29	5145,3	2,87	13162,4
0,00235	1,26	522,5	1,54	1029,2	1,78	2047,5	2,22	4991,7	2,78	12769,4
0,00222	1,23	507,7	1,48	1097,3	1,73	1989,8	2,16	4851,0	2,70	12409,7
0,00210	1,20	494,2	1,45	1068,1	1,69	1936.7	2,10	4721,7	2,63	12078,7
0,00200	1,17	481,7	1,32	1041,0	1,64	1887.7	2,04	4602,1	2,56	11772.8
0,00182	1,11	459,3	1,35	992,6	1,57	1799,8	1,95	4387,9	2,44	11225,0
0,00167	1,06	439,7	1,29	950,3	1,50	1723,2	1,87	4201,1	2,33	10747,1
0,00154	1,02	422,5	1,24	913,0	1,44	1655,6	1,79	4036,3	2,25	10325,4
0,00143	0,98	407,1	1,20	879,8	1,39	1595,5	1,73	3889,5	2,17	9949,9
0,00133	0,95	393,3	1,16	850,0	1,34	1541,3	1,67	3757,6	2,08	9612,5
0,00125	0,92	380,8	1,12	823,0	1,30	1492,4	1,62	3638,3	2,03	9307,3
0,00117	0,89	369,4	1,09	798,4	1,26	1447,8	1,57	3529,6	1,97	9029,4
0,00111	0,87	358,0	1,06	775,9	1,23	1407,0	1,52	3430,2	1,97	8775,0
0,00105	0,85	349,5	1,03	755,2	1,19	1369,5	1,48	3338,7	1,86	8540,9
0,00100	0.82	340;6	1,00	736,1	1,16	1334,8	1,45	3254,2	1 81	8324.7
0,00094	0,79	324,8	0,95	701.9	1,11	1272,7	1,38	3102,7	1,73	7937,3
0,00083	0,75	310,6	0,91	672,0	1,06	1218,5	1,32	2970,6	1,65	7599,3
0,00077	0,72	298,7	0,88	645,6	1,02	1170,7	1,27	2854,1	1,59	7301.2
0,00071	0.70	287,9	0,85	622,1	0,98	1128,1	1,22	2750,3	1 53	703,56
0,00066	0,67	278.1	0.82	601,6	0,95	1089,9	1,18	2657,0	1,48	6797,0
0,00062	0,65	269,3	0,79	582,0	0,92	1055,3	1,14	2572,7	1,43	6581,2
0,00059	0,63	261,2	0 77	564,6	0,89	1023.7	1.11	2495,8	1,39	6384,7
0,00056	0,61	253,9	0,75	548.7	0,87	994,9	1,08	2425,5	1,35	6204,8
0,00053	0,60	247,1	0,73	534.0	0,84	968.4	1.05	2360,8	1,31	6039,3
0,00050	0.58	240,8	0,71	520,5	0,82	943,8	1,02	2301,0	1,28	5886,4

§ 7. Nociones sobre la teoría del agua á presión.

103. *Definiciones.*—Sea una cañería que une dos depósitos A y B á nivel constante (fig. 30).

Presión estática en un punto de la cañería: la diferencia entre la cota del eje de la cañería en dicho punto y la cota superior de carga en el depósito de origen A.

Presión piezométrica en un punto de la cañería: la presión estática dicha, disminuida en todas las pérdidas por rozamiento y cambios de sección y dirección desde el origen hasta dicho punto.

Línea de cargas piezométricas ó sencillamente *línea de carga;* la línea lugar de los extremos de las ordenadas representativas de las presiones piezométricas en los diversos puntos. Generalmente se admite para línea de carga la recta que une los niveles del agua en los dos depósitos A y B.

Líneas de cargas absolutas: el lugar de los extremos de las ordenadas de la línea precedente aumentadas en la altura h (de agua), debida á la presión atmosférica en cada punto.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

104. *Ecuación fundamental para el movimiento uniforme del agua á presión*

$$Y = \frac{K\,L\,Q^2}{D^5} \qquad (19)$$

Se deduce de la ecuación general del movimiento uniforme

$$R_m\,I = R_m\,\frac{Y}{L} = b\,U^2$$

en la que L = longitud de la cañería;
U = velocidad media;
i = pendiente de la línea de carga;
Y = pérdida de carga á lo largo de la cañería;

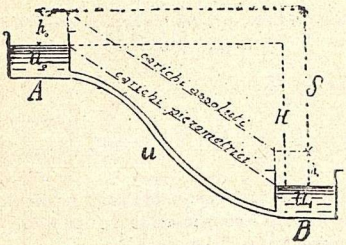


Fig. 30

$$K = \frac{64\,b^2}{\pi^2}$$

b = coeficiente de rozamiento.

Si H representa la pérdida total de carga é Y la pérdida por rozamiento solo, se tiene por la fig. 30 y por el teorema de Bernoulli (números 42, 43 y 44):

$$\delta = H + h_0 - h_1 = \frac{U_1^2 - U_0^2}{2\,g} + Y + 0{,}5\,\frac{U^2}{2\,g} + \frac{(U - U_1)^2}{2\,g} + \Sigma\xi \qquad (20)$$

En las cañerías largas se observa que:

1.º Generalmente $h_0 = h_1$ = presión atmosférica.

2.º El término $\dfrac{U_1^2 - U_0^2}{2\,g}$ es despreciable si U_1 y U_0 son muy pequeñas y poco diferentes.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

3.° La pérdida de carga en la embocadura ó entrada.

$$0{,}5\,\frac{U^2}{2g} < 0{,}025 \text{ para } U < 1 \text{ es despreciable.}$$

4.° La pérdida de carga en el desagüe $\dfrac{(U - U_1)^2}{2g}$ es también despreciable en general.

5.° Las pérdidas $\Sigma\,\xi$, debidas á los cambios de sección y de dirección, son también despreciables en general, menos en casos especiales, como, por ejemplo, en los surtidores, en los sifones, etcétera. Prácticamente y en las condiciones ordinarias, se admite que

$$\zeta = H = Y.$$

A) *Fórmulas antiguas que no tenían en cuenta la aspereza de las paredes.*

105. *Fórmula de Prony:*

$$R\,I = 2\,b\,U^2 = \alpha\,U + \beta\,U^2 \qquad \begin{matrix} \alpha = 0{,}0000173314 \\ \beta = 0{,}000348259 \end{matrix}$$

La tabla deducida de la fórmula de Prony y calculada por Fourneyron, y que se inserta á continuación, se usa hoy para diámetros comprendidos entre 0,20 y 0,60 metros.

Las demás fórmulas de Eytelwein, Anbrüsson, Barré de Saint Venant y Dupuit, apenas se usan en la actualidad.

Tabla XXXVI.—Calculada por Fourneyron, según la fórmula de Prony.

Da la velocidad media y el diámetro cuando se conocen el gasto y la pendiente de la línea de carga, siendo

$$i^2\,Q = 4\,\pi\,U\,(\alpha\,U + \beta\,U)^2.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

U	$PQ \times 10^0$	U	$PQ \times 10^0$	U	$PQ \times 10^0$	U	$PQ \times 10^0$
0,01	0,000005	0,55	91,21488	1,09	2564,041	1,63	18624,07
0,02	0,000059	0,56	99,51864	1,10	2681,705	1,64	29195,47
0,03	0,000262	0,57	108,4162	1,11	2803,650	1,65	19780,82
0,04	0,000786	0,58	117,9387	1,12	2929,990	1,66	20380,35
0,05	0,001896	0,59	128,1186	1,13	3060,843	1,67	20994,34
0,06	0,003966	0,60	138,9894	1,14	3196,331	1,68	21623,04
0,07	0,007498	0,61	150,5856	1,15	3336,574	1,69	22166,70
0,08	0,013140	0,62	172,9428	1,16	3481,696	1 70	22925,61
0,09	0,021704	0,63	176,0980	1,17	3631,823	1,71	23600,02
0,10	0,034185	0,64	190,0892	1,18	3787,085	1,72	24290,20
0,11	0,051780	0,65	204,9556	1,19	3947,612	1,73	24996,44
0,12	0,075903	0,66	220,7375	1,20	4113,525	1,74	25719,02
0,13	0,108208	0,67	237,4767	1,21	4284,991	1,75	26458,20
0,14	0,150603	0,68	255,2161	1,22	4462,117	1,76	27244,29
0,15	0,205272	0,69	273,9996	1,23	4645,052	1,77	27987,56
0,16	0,274691	0,70	292,8729	1,24	4833,937	1,78	28778,31
0,17	0,361644	0,71	314,8827	1,25	5028,917	1,79	29586,83
0,18	0,469248	0,72	337,0769	1,26	5230,138	1,80	30413'42
0,19	0,600966	0,73	360,5049	1,27	5537,749	1,81	31257,38
0,20	0,760624	0,74	385,2175	1,28	5651,900	1,82	32122,02
0,21	0,952437	0,75	411,2668	1,29	5872,745	1,83	33004,64
0,22	1,181017	0,76	438,7063	1,30	6100,489	1,84	33906,55
0,23	1,451400	0,77	467,5908	1,31	6335,142	1,85	34828,08
0,24	1,769069	0,78	497,9668	1,32	6577,012	1,86	35769,53
0,25	2,139952	0,79	529,9219	1,33	6826,214	1,87	36732,24
0,26	2,570403	0,80	563,6854	1,34	7082,912	1,88	37713,51
0,27	3,067394	0,81	598,7281	1,35	7347,275	1,89	38716,69
0,28	3,638309	0,82	635,7120	1,36	7619.472	1,90	39741'10
0,29	4,291090	0,83	674,5011	1,37	7899,677	1,91	40787,08
0,30	5,034226	0,84	715,1601	1,38	8188,065	1,92	41854,97
0,31	5 876776	0,85	757,7570	1,39	8484,814	1'93	42945,12
0,32	6,826380	0,86	802,3591	1,40	8790,104	1,94	44057,85
0,33	7,899285	0,87	849,0367	1,41	9104,119	1,95	45193,53
0,34	9,100358	0,88	897,8616	1,42	9427,044	1,96	46352,52
0,35	10,44316	0,89	948,9067	1,43	9659.067	1,97	47535,16
0,36	11,93969	0,90	1002.247	1,44	10100 38	1,98	48741,81
0,37	13,60296	0,91	1057,949	1,45	10451,17	1,99	49972,84
0,38	15,44645	0,92	1116,121	1,46	10811,65	2,00	51228,62
0,39	17,48441	0,93	1176,813	1,47	11182,00	2,01	52509,52
0,40	19,73182	0,94	1240,117	1,48	11562,43	2,02	53815,91
0,41	22,20441	0,95	13061,16	1,49	11953,15	2,23	55148,18
0,42	24,91867	0,96	1374,894	1,50	12354,36	2.04	56506,70
0,43	27,89191	0,97	1386,540	1.51	12766,26	2,05	57891,86
0,44	31,14219	0,98	1521,141	1.52	13189,09	2,06	59314,05
0,45	34,68845	0,99	1596,788	1,53	13623,04	2,07	60743,67
0,46	38,55042	1,00	1679,574	1,54	14068,33	2,08	62211.10
0,47	42,74873	1,01	1763,592	1,55	14525,20	2,09	63706,76
0,48	47 30496	1,02	1850,939	1,56	14993,86	2,10	65231,05
0,49	52,24121	1,03	1931,713	1.57	15474,54	2,11	66784,38
0,59	57,58117	1,04	2036,013	1,58	15967,46	2,12	68367,16
0,51	63,34867	1,05	2133,942	1,59	16472,87	2,13	69979,80
0,52	69,56920	1,06	2235,602	1.60	16990,99	2,14	71622,73
0,53	76,26882	1.07	2341,100	1,61	17522,07	2,15	73296,37
0,54	83,43467	1,08	2459,543	1,62	18066,35	2,16	75001,16

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

U	$PQ\times10^9$	U	$PQ\times10^9$	U	$PQ\times10^9$	U	$PQ\times10^9$
2,17	76727,51	2,38	121303,7	2,59	184520,3	2,80	271710,6
2,18	78505,89	2,39	123852,3	2,60	188082,9	2,81	276563,0
2,19	80306,70	2,40	126443,7	2,61	191700 2	2,82	281484,4
2,20	82140,41	2,41	129078,2	2,62	195372,9	2,83	286475,7
2,21	84007,46	2,42	131756,4	2,63	199101,8	2,84	291537,6
2,22	85908,32	2,43	134479,0	2,64	202887,3	2,85	296670,7
2,23	87843,43	2,44	137246,3	2,65	206730,2	2,86	301875,9
2,24	89813,25	2,45	140059,0	2,66	210631,2	2,87	307153,8
2,25	91818,24	2,46	142917,7	2,67	214590,8	2,88	312504,4
2,26	93858,90	2,47	145822,8	2,68	218609,8	2,89	319731,3
2,27	95936,66	2,48	148775,0	2,69	222688,6	2,90	323432,2
2,28	98049 03	2,49	151774,8	2,70	226828.1	2,91	329009,1
2,29	100199,5	2,50	154822,8	2,71	231029,0	2,92	334662,6
2,30	102387,5	2,51	157919,5	2,72	235291,9	2,93	340393,6
2,31	104613,6	2,52	161065,6	2,73	239617,6	2,94	346202,8
2,32	106878,2	2,53	164261,6	2.74	244006,5	2,95	351091,0
2,33	109181,8	2,54	167508,3	2,75	248459,6	2,96	358059,1
2,34	111525,1	2,55	170806,0	2,76	252977,4	2,97	364107,9
2,35	113908,2	2,56	174155,5	2,77	257560,7	2,98	370238,1
2,36	116432,2	2,57	177575,2	2,78	260210,2	2,99	376450,6
2,37	113797,1	2,58	181012,0	2,79	266926 7	3,00	382746,3

B) *Fórmulas que tienen en cuenta la aspereza de las paredes.*

106. *Experimentos clásicos de Darcy:* Con motivo del proyecto de acueducto de Dijon, Darcy dió las siguientes fórmulas y valores de las constantes:

a) *Tubos de diámetro* 0,10 ÷ 0,50 ms., *nuevos:*

$$R\,I = a\,U + b\,U^2,$$

$$a = \alpha + \frac{\varepsilon}{R} \qquad b = \alpha' + \frac{\varepsilon'}{R}$$

$$\alpha = 0{,}000031635 \qquad \alpha' = 0{,}000442939$$
$$\varepsilon = 0{,}0000000037556 \qquad \varepsilon' = 0{,}000006201$$

b) *Tubos de* 0,10 ÷ 0,50 ms. *de diámetro con incrustaciones:*

$$R\,I = 2\,b\,U^2 \qquad 2\,b = \alpha + \frac{\varepsilon}{R}$$

$$\alpha = 0{,}001014 \qquad \varepsilon = 0{,}00001294$$

Reduciendo la expresión precedente á la forma de la ecuación

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

fundamental (**19**) se tiene:

$$(21) \qquad K = \frac{32}{\pi^2}\left(0{,}001014 + \frac{0{,}00001294}{R}\right), \text{ ó sea } \sim K = 0{,}004.$$

c) *Tubos de gran diámetro:*

$$R_m i = \alpha\ U^2 \qquad \alpha = 0{,}0015 \div 0{,}002.$$

d) *Tubos capilares* (diámetro $<$ 0,01 m):

$$R i = 2\ b\ U \qquad 2\ b = \alpha + \frac{\epsilon}{R}$$

$$\alpha = 0{,}000028647 \qquad \epsilon = 0{,}000000751.$$

Para los tubos con incrustaciones los coeficientes α y ϵ tienen un valor doble.

Tabla XXXVII.—En la presente tabla, que se refiere especialmente al caso b) del número precedente, se han calculado para valores sucesivos del diámetro $D = 2R$ las expresiones:

$$b = \frac{1}{2}\left(0{,}001014 + \frac{0{,}00001294}{R}\right) \quad \text{y} \quad \alpha = \frac{I}{Q^2} = \frac{K}{D^5}.$$

Diám. D m.	Valores de b	Valores de α	Diám. D m.	Valores de b	Valores de α
0,01	0,001801	116790000	0,162	0,000586	04,057
0,02	0,001154	2338500	0,17	0,000583	26,626
0,027	0,000986	445600	0.18	0,000578	19,836
0,03	0,000938	250310	0,19	0,000575	15,059
0,04	0,000830	52561	0,20	0,000571	11,571
0,05	0,000765	15874	0,21	0,000568	9,0185
0,054	0,000746	10535	0,216	0,000566	7,8091
0'06	0,000722	6020,9	0,22	0,000565	7,1092
0,07	0,000691	2666,1	0,23	0,000563	5,6722
0,08	0,000668	1321,9	0,24	0,000560	4,5610
0,081	0,000666	1238,6	0,25	0,000558	3,7052
0,09	0,000650	713,81	0,26	0,000556	3,0345
0,10	0,000636	412,42	0,27	0,000554	2,5036
0,108	0,000626	276,27	0,28	0,000553	2,0836
0,11	0,000624	251,25	0,29	0,000551	1,7420
0,12	0,000614	160,01	0,30	0,000550	1.4677
0,13	0,000605	105,84	0,31	0,000548	1,2412
0,135	0,000602	87,058	0,32	0,000547	1,0571
0,14	0,000599	72,222	0,325	0,000546	1-97647
0,15	0,000593	59,639	0,33	0,000546	0,90470
0,16	0,000587	36,301	0,34	0,000545	0,77783

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Diám. D m.	Valores de b	Valores de α	Diám. D m.	Valores de b	Valores de α
0,35	0,000543	0,67042	1,40	0,00051624	0,00062241
0,36	0,000542	0,58126	1,45	0,00051592	0,00052193
0,37	0,000541	0,50591	1,50	0,00051565	0,00044082
0,38	0,000541	0,44275	1,55	0,00051535	0,000037538
0,39	0,000540	0,38811	1,60	0,00051508	0,000031853
0,40	0,000539	0,34134	1,65	0,00051484	0,00027299
0,41	0,000538	0,30122	1,70	0,00051461	0,00023503
0,42	0,000537	0,26645	1,75	0,00051439	0,000203202
0,43	0,000537	0,23687	1,80	0,00051419	0,00017646
0,44	0,000536	0,21076	1,85	0,00051399	0,00015384
0,45	0,000535	0,18801	1,90	0,00051381	0,00013456
0,46	0,000535	0,16844	1,95	0,00051364	0,00011814
0,47	0,000534	0,15099	2,00	0,00051347	0,00010405
0,48	0,000533	0,13565	2,05	0,00051331	0,00091941
0,49	0,000533	0,12236	2,10	0,00051316	0,000081476
0,50	0,000532	0,11039	2,15	0,00051302	0,000072412
0,55	0,000530	0,068288	2,20	0,00051288	0,000064536
0,60	0,000528	0,044031	2,25	0,00051275	0,00057662
0,65	0,000526	0,029397	2,30	0,00051263	0,000051645
0,70	0,000525	0,020256	2,35	0,00051251	0,000046369
0,75	0,000524	0,014319	2,40	0,00051239	0,000041788
0,80	0,000523	0,010350	2,45	0,00051228	0,000037632
0,85	0,000522	0,0076289	2,50	0,00051218	0,00034010
0,90	0,000521	0,0057215	2,55	0,00051208	0,000030798
0,95	0,000520	0,0045635	2,60	0,00051198	0,000027937
1,00	0,000519	0,0043635	2,65	0,00051188	0,000025398
1,05	0,00051932	0,0026385	2,70	0,00051179	0,000023123
1,10	0,00051876	0,0020888	2,75	0,00051171	0,00021098
1,15	0,00051825	0,0016708	2,80	0,00051162	0,000019277
1,20	0,00051778	0,0013493	2,85	0,00051154	0,000017643
1,25	0,00051735	0,0010993	2,90	0,00051146	0,000016169
1,30	0,00051695	0,00084845	2,95	0,00051139	0,000014343
1,35	0,00051658	0,00074705	3,00	0,00051131	0,000013645

107. *Fórmula de Mauricio Levy.*—Para los tubos de fundición nuevos;

$$U = 36{,}4 \sqrt{\frac{D}{2} i \left(1 + 3 \sqrt{\frac{D}{2}}\right)}$$

Para los tubos con incrustaciones:

$$U = 20{,}5 \sqrt{\frac{D}{2} i \left(1 + 3 \sqrt{\frac{D}{2}}\right)}.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En la ecuación fundamental (**19**), resulta;

$$(22)\quad \begin{cases} \text{Para tubos de fundición nuevos} & K=\dfrac{0{,}00246}{1+3\sqrt{\dfrac{D}{2}}} \\ \text{— — — con incrustaciones} & K=\dfrac{0{,}00776}{1+3\sqrt{\dfrac{D}{2}}} \end{cases}$$

108. *Fórmula monomia de Henry Vallot:*

$$D=0{,}324\left(\frac{Q}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{3}{8}};$$

comparable á la de Levy para tubos con incrustaciones.

109. *Fórmula de Flamant.*—La dedujo de más de 500 experimentos hechos en Francia é Inglaterra:

$$(23)\quad \begin{cases} \text{Para tubos de fundición nuevos:} & \dfrac{1}{4}\ D\ I=0{,}000135\sqrt[4]{\dfrac{U^7}{D}} \\ \text{Idem íd. íd. con incrustaciones:} & \dfrac{1}{4}\ D\ I=0{,}00022\sqrt[4]{\dfrac{U^7}{D}} \end{cases}$$

Esta fórmula da buen resultado para diámetros hasta de 1,20 metros.

En la segunda de las (**23**), suponiendo

$$\gamma=0{,}00092\sqrt[4]{\left(\frac{4}{\pi}\right)^7\frac{1}{D^5}},$$

se tiene

$$Q^{\frac{7}{4}}=\frac{I}{\gamma}.$$

Las dos tablas siguientes, calculadas sobre la base de estas fórmulas, dan γ en función de Q y D en función de γ

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XXXVIII

Q	$\frac{\gamma}{I}$	Q	$\frac{\gamma}{I}$	Q	$\frac{\gamma}{I}$	Q	$\frac{\gamma}{I}$
0,00010	10000000	0,0010	178000	0,010	3160	0,100	56,00
0,00011	8464000	0,0011	151000	0,011	2680	0,110	48,00
0,00012	7268000	0,0012	129000	0,012	2300	0,120	41,00
0,00013	6318000	0,0013	112000	0,013	2000	0,130	36,00
0,00014	5550000	0,0014	99000	0,014	1750	0,140	31,00
0,00015	4919000	0,0015	87000	0,015	1560	0,150	28,00
0,00016	4393000	0,0016	78000	0,016	1390	0,160	24,70
0,00017	3951000	0,0017	70000	0,017	1250	0,170	22,20
0,00018	3375000	0,0018	64000	0,018	1130	0,180	20,10
0,00019	3252000	0,0019	58000	0,019	1030	0,190	18,30
0,00020	2973000	0,0020	53000	0,020	940	0,200	16,70
0,00021	2730000	0,0021	49000	0,021	860	0,210	15,35
0,00022	2516000	0,0022	45000	0,022	796	0,220	14,15
0,00023	2328000	0,0023	41000	0,023	736	0,230	13,09
0,00024	2161000	0,0024	38000	0,024	683	0,240	12,15
0,00025	2012000	0,0025	36000	0,025	636	0,250	11,31
0,00026	1878000	0,0026	33400	0,026	594	0,260	10,56
0,00028	1650000	0,0028	29300	0,028	522	0,280	9,28
0,00030	1462000	0,0030	26000	0,030	462	0,300	8,22
0,00035	1117000	0,0035	19900	0,035	353	0,350	6,28
0,00040	884000	0,0040	15700	0,040	280	0,400	4,97
0,00045	719000	0,0045	12800	0,045	227	0,450	4,04
0,00050	598000	0,0050	10600	0,050	189	0,500	3,35
0,00055	506000	0,0055	9000	0,055	160	0,550	2,85
0,00060	435000	0,0060	7700	0,060	137	0,600	2,44
0,00065	378000	0,0065	6700	0,065	120	0,650	2,12
0,00070	332000	0,0070	5900	0,070	105	0,700	1,87
0,00075	294000	0,0075	5230	0,075	93	0,800	1,48
0,00080	263000	0,0080	4670	0,080	83	0,900	1,20
0,00090	214000	0,0090	3810	0,090	68	1,000	1,00

Tabla XXXIX

D	γ	D	γ	D	γ	D	γ	D	γ
0,010	4427000	0,130	22,60	0,27	0,700	0,41	0,9700	0,70	0,00760
0,015	64500	0,140	15,60	0,28	0,550	0,42	0,8600	0,75	0,00550
0,020	16450	0,150	11,50	0,29	0,500	0,43	0,7700	0,80	0,00400
0,022	57100	0,160	8,44	0,30	0,430	0,44	0,6900	0,85	0,00300
0,030	24000	0,170	6,33	0,31	0,360	0,45	0,6200	0,90	0,00230
0,040	6100	0,180	4,83	0,32	0,314	0,46	0,5600	0,95	0,00180
0,050	2190	0,190	3,73	0,33	0,271	0,47	0,5100	1,00	0,00140
0,060	894	0,200	2,93	0,34	0,235	0,48	0,4600	1,05	0,00110
0,070	430	0,210	2,32	0,35	0,205	0,49	0,4100	1,10	0,00089
0,080	227	0,220	1,86	0,36	0,179	0,50	0,0377	1,20	0,00059
0,090	130	0,230	1,51	0,37	0,157	0,52	0,0318	1,30	0,00040
0,100	179	0,240	1,23	0,38	0,139	0,55	0,0240	1,40	0,00028
0,100	50	0,250	1,01	0,39	0,123	0,60	0,0158		
0,120	33	0,260	0,84	0,40	0,107	0,65	0,0108		

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

110. *Fórmula de M. Robert Monning.*—Para tubos con incrustaciones:

$$\frac{1}{4} D I = \frac{0{,}00078}{\sqrt{D}} U^2.$$

No se insertan otras fórmulas, como las de Weisbach, Ganguillet y Kutter, Frank, Lamape y Unwin, por ser de poco uso y bastante complicadas.

Prácticamente se supone que K varía entre 0,002 y 0,004, según sean nuevos los tubos ó estén en uso.

111. *Presión y espesor de los tubos.*—La presión á qué debe resistir un tubo es la debida á la carga piezométrica, dada por una columna de agua igual á la distancia vertical entre el tubo y la línea de carga. Si la cañeria no tuviese desagüe libre, es decir, que éste se hallase cerrado por un obstáculo, como una llave, entonces la presión que rige en el tubo es la estática, igual al desnivel entre el tubo y la superficie superior de carga.

La fórmula más usada para calcular el espesor es

$$S = \frac{1000\, D\, H}{2\, R} + C, \qquad (24)$$

en la que:

D = diámetro interior del tubo,
H = presión en altura de agua,
R = coeficiente de resistencia del material,
C = constante que varía con la naturaleza del material.

Para los diversos materiales resultan las siguientes fórmulas:

Cemento.....	$s = 0{,}030\, D\, H + 0{,}015$
Fundición	$s = 0{,}00016\, D\, H + 0{,}008$
Hierro forjado..	$s = 0{,}000083\, D\, H + 0{,}0015$
Acero.....	$s = 0{,}000063\, D\, H + 0{,}0010$
Plomo	$s = 0{,}0025\, D\, H + 0{,}005$

112. *Golpe de ariete y teoria del movimiento perturbado del agua en los tubos á presión.*—La parada ó la desviación súbita del agua en movimiento produce sobre las paredes un violento choque, llamado golpe de ariete, que es de terribles efectos y á veces determina la rotura del tubo. Para prevenir estos golpes se calcula que la presión debe aumentarse en una columna de agua de altura H.—Dupuit halló para una velocidad de 0,65 m, $H = 80$ m,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Menabrea, después de un profundo estudio, dedujo:

$$H = \frac{h}{\alpha} \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \frac{2\,\overline{\omega}\,h}{E\,\alpha^2}\left(1 + \frac{E}{C}\right)}},$$

en que $h = \frac{U^2}{2\,g}$, siendo U la velocidad media del agua; $\overline{\omega}$ el peso específico del agua; α = alargamiento unitario de la circunferencia, correspondiente al alargamiento del diámetro interior en el límite de elasticidad; E = módulo de elasticidad; C = coeficiente de compresibilidad del agua = 214.600,000 kg.

Fórmulas del movimiento perturbado.—El ingeniero Alievi ha dado recientemente una exposición práctica, rigurosa y satisfactoria de la teoría general del movimiento perturbado del agua en las cañerías en presión. Los resultados principales á que ha llegado son:

I) Los fenómenos del movimiento perturbado del agua en las cañerías en presión son de naturaleza vibratoria y se propaga con la velocidad a dada por la

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48{,}3 + K\frac{d}{e}}} \qquad (25\ a)$$

siendo $K = 10^{10}\,E^{-1}$; E = módulo de elasticidad del material de de que está constituido el tubo; d y e el diámetro y espesor del tubo.

Para los tubos de fundición, tipo normal (Terni), se tiene:

$d = 0{,}10$	$e = 0{,}010$	$a = 1296$
» »	» 0,014	» 1330
» 0,20	» 0,011	» 1215
» »	» 0,019	» 1291
» 0,50	» 0,016	» 1110
» »	» 0,040	» 1270
» 1,00	» 0,022	» 1023
» »	» 0,080	» 1270

Para los tubos de plomo, tipo normal:

$d = 20\ ^{m}/_{m}$	$e = 2{,}5\ ^{m}/_{m}$	$a = 1053$
» 40	» 5	» 1053
» 60	» 5	» 952
» 80	» 5	» 874

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

II) *Golpe de ariete sencillo.*—Para un golpe de ariete positivo ó negativo, producido por la maniobra de cierre ó apertura, cuya duración sea $< \frac{2l}{a}$, siendo l la longitud del tubo, la altura de larga máxima Y está dada por la

$$Y^2 - 2Y\left(H + \frac{a^2 \psi^2}{g}\right) + H^2 = 0,$$

en la que ψ = relación entre la luz de salida y la sección del tubo al terminar la maniobra;

(25 *e*) $$H = y_0 + \frac{a v_0}{g}$$

altura máxima para un cierre completo: y_0 y v_0 son la altura de carga y la velocidad antes de la perturbación.

III) *Contragolpe de ariete.*—Si la maniobra de cierre ó apertura del interceptor tiene una duración $> \frac{2l}{a}$ la altura de carga tiende á una altura Y en que permanece lo que dura la maniobra, y está dada por las dos raíces (positiva en el caso de cierre y negativa en el de apertura) de la ecuación

$$\left(\frac{Y'}{y_0}\right)^2 - 2\left(\frac{Y'}{y_0}\right)\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{l v_0}{g T g_0}\right)^2\right] + 1 = o,$$

representando T el instante del cierre completo.

IV) *Cámaras de aire.*—Son órganos de que se provee al tubo cerca de la interrupción con objeto de disminuir la sobrepresión debida al golpe de ariete. Son aplicables racionalmente sólo en el caso de maniobras cuya duración $< \frac{2l}{a}$.

La dimensión l de una cámara de aire, si se pone la condición de que la fuerza viva del chorro afluente sea decreciente, durante el cierre debe estar dada por la fórmula siguiente:

$$l \geq \frac{3}{8} v_0 T.$$

La tabla siguiente da las velocidades límites en las cañerías para los golpes de ariete:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XL

D	U	D	U	D	U	D	U
0,10	0,75	0,25	1,00	0,50	1,40	1,00	2,00
0,15	0,80	0,30	1,10	0,60	1,60		
0,20	0,90	0,40	1,25	0,80	1,80		

113. *Diversas posiciones de la línea de carga.*

1.er caso: la cañería está siempre altimétricamente inferior á la línea de carga (fig. 30).

En este caso el funcionamiento es regular, la cañería está siempre á presión y el gasto se deduce con la fórmula fundamental (**19**).

2.º caso: la cañería es superior en algún trozo á la línea de carga, pero inferior á la horizontal que pasa por el nivel del agua en el origen (fig. 31).

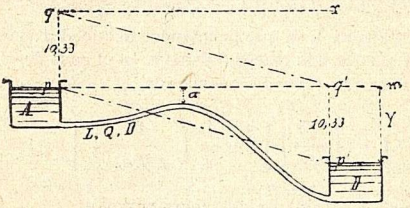


Fig. 31.

Entonces la cañería se ceba por sí misma y tiene el gasto Q como anteriormente, pero el funcionamiento no es regular, porque en la parte sobre la línea de carga que no está á presión tiende á acumularse aire, que es aprisionado por el agua y hace disminuir la sección y, por consiguiente, el gasto. Este inconveniente sucede siempre en los puntos de máxima elevación de la cañería; en el primer caso se evita con una ventosa de válvula; en el segundo y siguientes no es posible, porque no estando el agua á á presión descendería y entraría más aire.

3.er caso: la cañería es superior en algún trozo á la horizontal del nivel de origen, pero inferior á la línea de cargas absolutas (fig. 32).

En este caso hay que *cebar* con bombas y en lo demás funciona como en el segundo caso. El gasto Q como anteriormente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

4.º caso: la cañería, siendo en algún trozo inferior á la horizontal del nivel del origen, es superior á la línea de cargas absolutas (fig. 33).

La cañería en este caso se ceba por sí misma, pero el gasto se

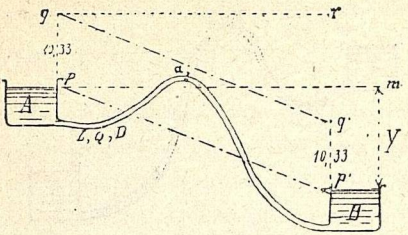


Fig. 32

convierte en $Q' < Q$, es decir, menor que el que corresponde á la pendiente $i' < \frac{Y}{L}$ de la menor línea de carga ($q\ a$). El gasto Q' está dado por la

$$Q' = \sqrt{\frac{i' D^5}{K}} .$$

La línea de las cargas absolutas se dispone evidentemente, según la ($q\ a$), como en la fig. 33. En el trozo intermedio $a\ b$ de la ca-

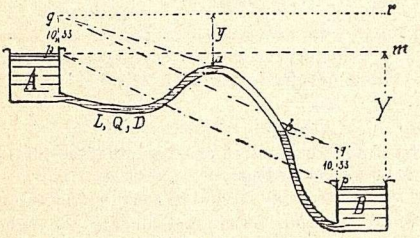


Fig. 33.

ñería el agua no está á presión y cae en vertedero para ponerse á presión en el último trozo, donde la línea de carga es $b'\ q'$ y tiene aún la pendiente i'.

5.º caso: la cañería es en algún trozo inferior solamente

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

á la horizontal, q r, *que pasa por el origen de la línea de las cargas absolutas* (fig. 35)—.En este caso hay que cebar la cañería con bombas y después funciona como en el caso cuarto. Gasto $Q' < Q$.

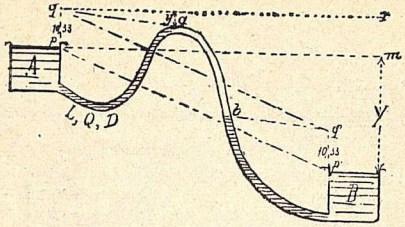


Fig. 34.

6.º caso: la cañería, en algún trozo, es superior á la línea q r.

No es posible el paso del agua del depósito de origen al de descarga.

114. *Surtidores.*—El problema consiste en: dado un surtidor de gasto Q y de altura H, en el punto donde debe elevarse el surtidor, determinar el diámetro D de la cañería y el d del surtidor, de modo que resulte para éste una altura h'.

En la práctica interesa conocer el gasto Q y la altura h'.

Se fija $h = \frac{3}{2} h'$.

y de la

$$y = H - \frac{3}{2} h' = \frac{K\ L\ Q^2}{D^5}$$

se deduce D.

El diámetro d no se calcula; se prueban diversas bocas, eligiendo la que da el gasto Q buscado.

115. *Sistemas de tubos.*—Económicamente conviene siempre conducir el agua por una sola cañería mejor que con varios tubos que den el mismo gasto. Cuando, debido á las incrustaciones, un tubo no da todo el gasto, puede remediarse agregando (al menos en un trozo) un nuevo tubo, cuya longitud se determina en función del gasto; esto puede hacerse gráficamente buscando la ordenada mínima del diagrama de gastos respecto al diámetro.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La longitud correspondiente que resulta del cálculo puede ser la longitud total del tubo.

116. *Tubos de diámetro variable.*—Si un tubo está compuesto de n trozos de diámetro d_1 y longitud l_1, la longitud L del tubo de diámetro constante D que tenga el mismo gasto, es:

$$L = \Sigma\, l_1 \frac{D^5}{d_1^5}.$$

Resulta del cálculo que no conviene introducir estrechamientos, porque si el diámetro para un tubo l se reduce, por ejemplo, á $\frac{1}{n}$ esto equivale á aumentar la longitud l, reduciendo á $n^5 l$.

117. *Tubos con servicio uniforme en el recorrido.*

$$(26) \qquad Y = K\left(\frac{Q}{\sqrt{3}}\right)^2 \frac{L}{D^5};$$

$$Q = 1{,}73\sqrt{\frac{Y D^5}{k L}};$$

$$D = 0{,}80\sqrt[5]{\frac{k L Q^2}{Y}};$$

Q = gasto total que debe evacuarse uniformemente.

La línea de carga en este caso es una parábola cúbica

$$y = \frac{k Q^2}{3 L^2 D^5} x^3,$$

que desciende, desde luego, muy rápidamente, lo que quiere decir que una parte del gasto se consume al principio.

Esto se evita variando el diámetro de modo que sea

$$\frac{d y}{d x} = f(D) = \text{constante}.$$

En la práctica, cuando el servicio es mixto, conviene hacer dos tubos paralelos: uno para el servicio uniforme y otro para el de los extremos.

118. *Tubos de servicio mixto.*

$$(27) \qquad Y = \frac{K L}{D^5}(P + 0{,}55\, Q)^2;$$

P = gasto en el extremo,

Q = gasto total que debe evacuarse uniformemente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

119. *Cálculo de los depósitos de compensación.*—Los depósitos de compensación sirven para almacenar el agua durante las horas de mínimo consumo y distribuirlo en las de máximo.

A) *Depósitos necesarios.*—El manantial no puede dar más que el gasto medio q, mientras que el gasto de máximo consumo es $Q > q$.

Capacidad del depósito.—Sean n las horas de máximo consumo y $24 - n$ las de menor consumo ó nulo.

Será:

$$q \times 24 \times 3600 = Q\,3600\,n$$

y la capacidad buscada

$$C = (24 - n)\,q \times 3600$$

y la cantidad suministrada por el depósito en las horas de menor consumo

$$Q' = Q - q = \frac{C}{n \,.\, 3600}.$$

Depósitos de origen.—Pueden estar colocados en un punto cualquiera de la cañería exterior. La parte de cañería de aguas arriba se calcula en función del gasto medio; la de aguas abajo en función del gasto máximo.

Depósitos en los extremos.—Se colocan, en general, aguas abajo de la distribución urbana. Reciben el agua del manantial durante las horas de consumo medio y concurren con el manantial á alimentación de la red en las horas de máximo consumo.

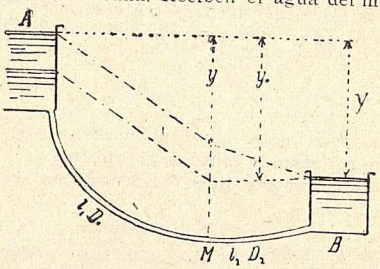


Fig. 35.

Primer caso.—Alimentación de un punto M á la distancia l_1 del manantial A y l_2 del depósito B, medidas á lo largo de la cañería.

Ecuación para las horas de consumo cero:

$$y = \frac{K\,l_1\,q^2}{D_1^5} + \frac{K\,l_2\,q^2}{D_2^5} = K\,q^2\left(\frac{l_1}{D_1^5} + \frac{l_2}{D_2^5}\right).$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Ecuación para las horas de consumo máximo:

$$\begin{cases} y = \dfrac{K l_1 q^2}{D_1^5} \\ y_0 - Y = \dfrac{K l_2 (Q-q)^2}{D_2^5} \end{cases}$$

Estas tres ecuaciones sirven para determinar D_1, D_2 é y_0.

Si se quisiera un diámetro único, ó sea $D_1 = D_2 = D$, habría que satisfacer la condición

$$\alpha = \sqrt{\frac{(y_0 - Y)(l_1 + l_2)}{l_2 Y}},$$

suponiendo

$$\alpha = \frac{Q}{q} = \frac{24}{n}.$$

Segundo caso.—Alimentación uniforme en un recorrido de longitud total L; en este caso l_1 y l_2 no son arbitrarios, sino que se tiene:

$$l_1 = L\frac{q}{Q}; \qquad l_2 = \frac{L(Q-q)}{Q}.$$

El sistema análogo para determinar D_1, D_2, y_0 (véase fig. 35) será

$$\begin{cases} y_0 = \dfrac{K q^3 L}{Q}\left(\dfrac{1}{D_1^5} + \dfrac{\alpha - 1}{D_2^5}\right) \\ y = \dfrac{1}{3}\dfrac{K q^3 L}{D_1^5 Q} \\ y_0 - Y = \dfrac{1}{3}\dfrac{K q^3}{D_2^5}\left(\dfrac{(\alpha-1)^3 L}{Q}\right) \end{cases}$$

para tener $D_1 = D_2 = D$, se tienen las condiciones análogas

$$\frac{Y}{y_0 - Y} = \frac{3 L \alpha}{(\alpha - 1)^3 L}.$$

B) *Depósitos no necesarios ó convenientes.*—Muchas veces, por razones económicas, se emplea un depósito, aunque el manantial pudiese dar el gasto Q de máximo consumo. Entonces se usan solo depósitos de extremo.

Primer caso.—Alimentación de un solo punto M.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La incógnita es el gasto q del manantial que alimenta de noche el depósito y el gasto q_2 del mismo manantial en las horas de máximo consumo.

Para la determinación (fig. 35) de las cuatro incógnitas q_1, q_2, D_1 y D_2, se tienen las cuatro ecuaciones:

$$\begin{cases} q \cdot 3600\,(24 - n) = (Q - q_2)\,3600\,n \\ Y = K q_1^2 \left(\dfrac{l_1}{D_1^5} + \dfrac{D_2^5}{l_2} \right) \\ y = \dfrac{K l q_2^2}{D_1^5} \\ y_0 - Y = \dfrac{K l_2 (Q - q_2)^2}{D_2^5} \end{cases}$$

Segundo caso.—Alimentación de una línea de servicio uniforme con diámetro D constante,

Las incógnitas son q_1, l_1, l_2, D. Las ecuaciones correspondientes:

$$\frac{Q}{L} l_1 = \frac{Q}{2} + \frac{m q_1^2}{2q}, \quad \text{en la que} \quad m = 1 : \left(1 - \frac{l_1 l_2}{L}\right) = 3 \div 4$$

$$\frac{Q}{L} l_2 = \frac{Q}{2} - \frac{m q_1^2}{2q}$$

$$\frac{Q}{2} - \frac{m q_1^2}{2q} = q_1\,3600\,(24 - n)$$

$$Y = \frac{K L q_1^2}{D^5}$$

Para más sencillez se han presentado las ecuaciones finales, fáciles también de deducir dadas las condiciones del problema.

La distribución de los depósitos compensadores podría hacerse análogamente, aunque de modo algo más complicado, si en vez de uno hubiera más puntos alimentados. Se deducirán diámetros distintos para los diversos trozos.

Hasta ahora no se ha presentado ningún estudio completo sobre este objeto.

120. *Máxima economía en las cañerías.* – La condición general de máxima economía, siendo L y D la longitud y diámetro de la cañería, es $\Sigma L D = \text{mínimo}$.

Punto más conveniente de la cañería principal para el

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

arranque de una secundaria.—Designando con los índices 1 y 2 los elementos relativos á los dos trozos de la cañería secundaria, deberá tenerse:

$$\frac{q_1^2 l_2}{y_1} = \frac{q_2^2 l_2}{y_2}\ ; \quad \text{es decir} \quad d_1 = d_2 .$$

Si $y_1 = y_2$ se tiene $\frac{l_1}{l_2} = \frac{q_2^2}{q_1^2}$.

Relación entre los elementos de los tubos afluentes y derivados en un punto.

(28) $$\Sigma \frac{d_r^{\,6}}{q_r^{\,2}} = \Sigma \frac{d_s^{\,6}}{q_s^{\,6}}$$

d_r y q_S son los relativos al tubo afluente.

d_S y q_S son los relativos al tubo derivado.

121. *Resolución general de una red, según los conceptos de máxima economía.*—Sean m trozos y n nudos.

Las incógnitas serán $m + n$ (los m diámetros de los trozos y las n cotas piezométricas de los nudos).

Las ecuaciones son también $m + n$.

(29 *a*)
$$\begin{cases} m \text{ de la forma} \quad y_i - y_{i-1} = \dfrac{K l_1 q_1^2}{d_{1_5}} \\ n \text{ de la forma} \quad \Sigma \dfrac{d_r^{\,6}}{q_1^{\,6}} = \Sigma \dfrac{d_s^{\,6}}{q_s^{\,6}} \end{cases}$$

El sistema (**29** *a*) es determinado, y también exactamente resoluble en los casos siguientes:

1.° Si en cada nudo concurren solamente dos tubos, ó bien si una línea tiene derivaciones de poca importancia, que puedan despreciarse (respecto al diámetro, no respecto al gasto), entonces, siendo a y b las cotas piezométricas, y_i las cotas piezométricas de los nudos intermedios, se tendrá:

(29 *b*) $$y_i - y_{i-1} = \frac{(a-b) l_i q_i^{\frac{1}{3}}}{\Sigma \left(l q^{\frac{1}{3}} \right)} .$$

2.° Si las cotas piezométricas de los puntos de extrema alimentación son todas iguales.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Este caso se verifica si el área de alimentación es completamente plana ó fácilmente divisible en zonas de igual cota.

(Véase Acueductos, donde se indica el procedimiento y resultado de este estudio.)

§ 8.—**Nociones y principales fórmulas del movimiento permanente.**

122. *Casos prácticos en que puede tener lugar el movimiento permanente.*

A) *En un curso de cauce regular y sección constante.*

1.° Por una admisión repentina de agua que aumente el gasto.

2.° Por una sustracción repentina de agua que disminuya el gasto.

3.° Por una elevación repentina de nivel en una sección á causa de una presa, un puente, espigón ú otro obstáculo en el curso regular del agua.

4.° Por un tramo en que el fondo sea horizontal ó ascendente.

B) *En un curso de sección gradualmente variable*,

5.° Por una aproximación ó alejamiento de las márgenes,

6.° Por una elevación ó descenso del fondo.

123. *Ecuación diferencial del movimiento permanente.*

$$\frac{d\xi}{ds} = \frac{c}{\omega} B_1 U^2 + \frac{\alpha^3}{g} \frac{U\,dU}{ds} \tag{30}$$

$$\xi = z - \frac{p}{\omega} = \text{pendiente motriz}$$

$$\frac{c}{\omega} = \text{radio medio.}$$

$B_1 =$ coeficiente de rozamiento.

$$\alpha' = \sim 1.$$

Integrando entre las secciones ω_1 y ω_2 de abscisas s_1 y s_2, para las que el movimiento es permanente

$$\omega_1 U_1 = \omega_2 U_2 = Q,$$

se tiene:

$$Q^2 = \frac{\zeta}{\frac{\alpha'}{2g}\left(\frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2}\right) + \int_{s_2}^{s_1} B_1 \frac{\omega^3}{d}\, ds.} \tag{31}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La integral del segundo miembro de la (**31**) debe efectuarse gráficamente ó por aproximación por cualquier método.

La (**31**) puede dar el desnivel ζ ó el gasto Q procediendo por diversos tanteos. Como este método resulta muy laborioso, no se usa y es preferible la medición de los gastos.

A) *Cursos de cauce regular y constante.*

124. *Ecuación diferencial general del movimiento permanente en el caso* A):

$$\frac{d\,p}{d\,s} = i_1 \frac{1 - \dfrac{B_1\,U_2}{R_m\,i_1}}{1 - \dfrac{\alpha'\,U^2}{g\,p_m}}$$

i = pendiente del lecho,
p_m = profundidad media de la sección.

125. *Cursos de sección rectangular muy ancha.*

$$\frac{d\,p}{d\,s} = i_1 \frac{\left(\dfrac{p}{p_n}\right)^3 - 1}{\left(\dfrac{p}{p_n}\right)^5 - \dfrac{\alpha'\,i_1}{g\,B_1}} \tag{32}$$

p = profundidad media de la sección en el movimiento permanente,
p_n = profundidad media correspondiente en el movimiento uniforme.

126. *Formas diversas de la curva de remanso.*—De la discusión de la fórmula (**32**), que no es otra cosa que la ecuación diferencial de la curva de remanso, aparecen distintos los siguientes casos, según que

$$\frac{\alpha'\,i_1}{g\,B_1} \lessgtr 1 \quad \text{ó sea} \quad i_1 \lessgtr \frac{g\,B_1}{\alpha'} = 0{,}003 \div 0{,}004, \text{ por término medio.}$$

1.er caso.—Sea $i_1 = \dfrac{g\,B_1}{\alpha'}$. La línea del remanso es una recta horizontal.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Remanso de elevación ó entumecimiento (fig. 36).—El remansado se une al nivel uniforme de aguas abajo con un salto.

Remanso de depresión (fig. 37).—Aguas arriba hay un enlace brusco con el nivel uniforme.

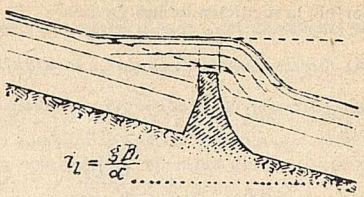


Fig. 36.

2.º *caso.*—Sea $i_1 < \frac{g B_1}{\alpha}$.

Remanso de elevación (fig. 38).—La línea del remanso es una curva cóncava hacia arriba, asintótica con la horizontal de aguas abajo y con el nivel uniforme aguas arriba.

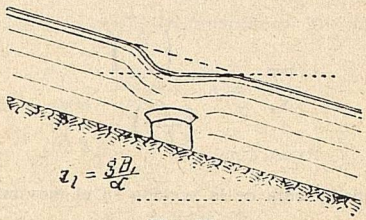


Fig. 37.

Remanso de depresión (fig. 39).—La línea del remanso es una corva convexa hacia arriba. Aguas arriba es asintótica con el ni-

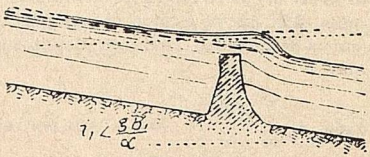


Fig. 38.

vel uniforme, y aguas abajo se une bruscamente con el nivel uniforme. La curva teórica se repliega detrás y sería asintótica con la horizontal.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

3.er *caso.*—Sea $i_1 > \frac{g\,B_1}{\alpha'}$.

Remanso de elevación (fig. 40).—La línea teórica de remanso

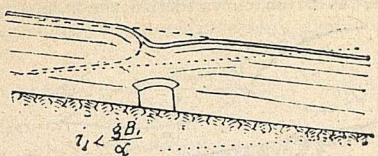


Fig. 39.

es una curva convexa hacia arriba; aguas abajo es asintótica

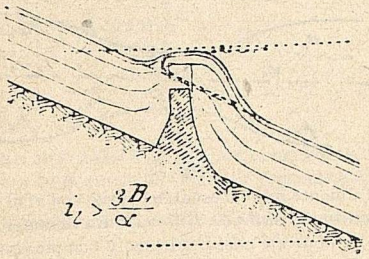


Fig. 40.

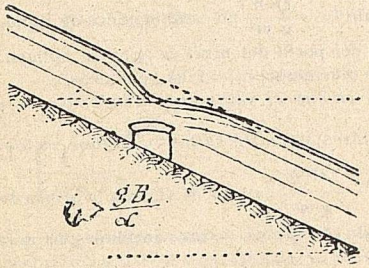


Fig. 41.

con la horizontal, después se repliega y convierte en cóncava hacia arriba y asintótica con el nivel uniforme.

para $p = p_1 = \sqrt{\frac{\alpha' i_1}{g B_1}}$ la curva de remanso es normal al nivel

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

uniforme. Aguas arriba y aguas abajo se une bruscamente con el nivel uniforme. Esta unión se llama *salto de Bidone*.

Remanso de depresión (fig. 41).—La línea de remanso es una curva convexa hacia arriba, asintótica aguas abajo con el nivel uniforme y aguas arriba (curva teórica) con la horizontal. Aguas

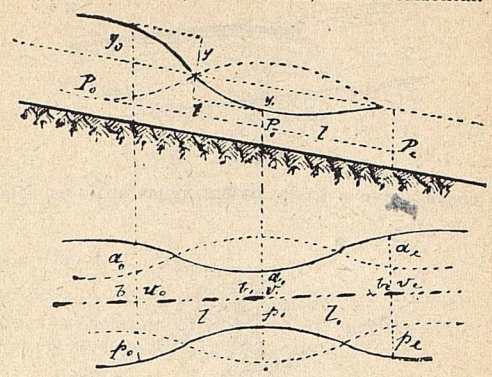


Fig. 42.

arriba, generalmente hay un escalón brusco con el nivel uniforme.

Determinación del salto de Bidone.—En resumen: una corriente ó curso de agua de eje casi rectilíneo y con movimiento permanente, puede imaginarse compuesta así:

a) *Partes en que el régimen es gradualmente variado.*—En ella el binomio $1 - \frac{Q^2 b}{g\,\omega^3}$ no cambia nunca de signo, y para la determinación del perfil del nivel de agua se aplican las leyes expuestas de la teoría general de los remansos.

b) *Partes en que el régimen varía bruscamente.*—En esos puntos singulares, llamados *saltos de Bidone*, en los que $\frac{dp}{ds} = \infty$, el binomio $1 - \frac{Q^2 b}{g\,\omega^3}$ cambia de signo y la altura del salto se calcula (aplicando el teorema de las cantidades de movimiento) con la fórmula

$$\omega_1 = \frac{2\frac{Q^2 b}{g}}{\frac{\omega_0^2}{2} + \sqrt{\frac{\omega_0^4}{4} + \frac{2\,Q^2\,b\,\omega}{g}}}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ω_1 y ω_2 representan las secciones de ancho b cerca del salto y antes del salto.

Para las secciones rectangulares se supone $\omega_1 = p_1 b_1$; $\omega_0 = p_0 b$

127. *Integración de la ecuación del movimiento permanente.*

a) *Para corrientes rectangulares muy anchas de fondo no horizontal.*

De la (**32**), siendo $d s = \dfrac{d \zeta + d p}{i_1}$ ...; y suponiendo $\dfrac{p}{p_u} = x$ y $\mu = \dfrac{\alpha' i_1}{g B_1}$, se tiene la relación

$$d \zeta = p_u (1 - \mu) \frac{d x}{x^3 - 1},$$

que integrando (V. núm. 12), da:

$$\zeta = (1 - \mu) p_u \left\{ \frac{1}{6} \log_e \frac{(x-1)^2}{x^2 + x + 1} - \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{arc\,tg} \frac{2x+1}{\sqrt{3}} + \text{constante} \right\}$$

Para determinar la constante se toma como punto de referencia de la ζ un punto de la curva de remanso y precisamente su punto en el infinito. Resulta entonces $\zeta = 0$; $x = \infty$; constante $= \dfrac{\pi}{2\sqrt{3}}$

de donde

$$\zeta_0 - \zeta = p_n (1 - \mu) \left[\psi (x) - \psi (x_0) \right]$$

y para la $i_1 d s = d \zeta + d p$, será:

(33 *a*) $$\frac{i_1}{p_u} (s - s_0) = x - x_0 + (1 - \mu) \left[\psi (x) - \psi (x_0) \right],$$

en la que

(33 *b*) $$\psi (x) = - \left[\frac{1}{6} \log_e \frac{(x-1)^2}{x^2 + x + 1} + \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{arc\,tg} \frac{2x+1}{\sqrt{3}} \right]$$

La (33 *a*) sirve para resolver todos los casos de remanso en las hipótesis expuestas, y para $i \neq 0$ cualquiera, es decir, para cauces ascendentes y descendentes.

Las tablas siguientes, calculadas por Bresse dan los valores $\psi (x)$ en función de $x = \dfrac{p}{p_u}$ (V. fórm. 33 *b*), y son muy útiles en la práctica.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XLI a). — Parte relativa á los remansos con elevación.

$\frac{1}{x}$	x	$\psi(x)$	Diferencia.	$\frac{1}{x}$	x	$\psi(x)$	Diferencia.
1,000	1,0000	∞	∞	0,930	1,0753	0,7675	—0,0094
0,999	1,0010	2,1834	—0,2311	0,928	1,0776	0,7581	—0,0091
0,998	1,0020	1,9523	—0,1351	0,926	1,0799	0,7490	—0,0089
0,997	1,0030	1,8172	—0,0959	0,924	1,0823	0,7401	—0,0086
0,996	1,0050	1,7213	—0,0744	0,922	1,0846	0,7315	—0,0084
0,995	1,0050	1,6469	—0,0608	0,920	1,0870	0,7231	—0,0082
0,994	1,0060	1,5861	—0,0523	0,918	1,0893	0,7148	—0,0080
0,993	1,0070	1,5348	—0,0446	0,916	1,0917	0,7069	—0,0079
0,992	1,0081	1,4902	—0,0392	0,914	1,0941	0,6990	—0,0076
0,991	1,0091	1,4510	—0,0351	0,912	1,0965	0,6915	—0,0075
0,990	1,0101	1,4159	—0,0318	0,910	1,0989	0,6389	—0,0073
0,988	1,0115	1,3841	—0,0290	0,908	1,1013	0,6766	—0,0071
0,988	1,0121	1,3551	—0,0267	0,906	1,1038	0,6695	—0,0070
0,987	1,0132	1,3284	—0,0247	0,904	1,1062	0,6625	—0,0069
0,986	1,0142	1,3037	—0,0230	0,902	1,1086	0,6556	—0,0067
0,985	1,0152	1,2807	—0,0215	0,900	1,1111	0,6489	—0,0162
0,984	1,0163	1,2592	—0,0202	0,895	1,1173	0,6327	—0,0154
0,983	1,0173	1,2390	—0,0191	0,890	1,1236	0,6173	—0,0148
0,982	1,0183	1,2199	—0,0180	0,885	1,1209	0,6025	—0,0141
0,981	1,0194	1,2019	—0,0171	0,880	1,1364	0,5884	—0,0135
0,980	1,0204	1,1848	—0,0162	0,875	1,1429	0,5749	—0,0130
0,979	1,0215	1,1686	—0,0155	0,870	1,1494	0,5619	—0,0125
0,978	1,0225	1,1531	—0,0148	0,865	1,1561	0,5494	—0,0120
0,977	1,0235	1,1383	—0,0142	0,860	1,1628	0,5374	—0,0116
0,976	1,0246	1,1241	—0,0136	0,855	1,1696	0,5258	—0,0112
0,975	1,0256	1,1105	—0,0131	0,850	1,1765	0,5146	—0,0109
0,974	1,0267	1,0974	—0,0126	0,845	1,1834	0,5037	—0,0105
0,973	1,0271	1,0848	—0,0121	0,840	1,1905	0,4932	—0,0101
0,972	1,0288	1,0727	—0,0117	0,835	1,1976	0,4831	—0,0098
0,971	1,0299	1,0610	—0,0113	0,830	1,2048	0,4733	—0,0096
0,970	1,0309	1,0497	—0,0215	0,825	1,2121	0,4637	—0,0093
0,968	1,0331	1,0282	—0,0202	0,820	1,2195	0,4544	—0,0090
0,966	1,0352	1,0080	—0,0190	0,815	1,2270	0,4454	—0,0087
0,964	1,0373	1,9890	—0,0181	0,810	1,2346	0,4367	—0,0086
0,962	1,0395	0,9709	—0,0170	0,805	1,2422	0,4281	—0,0083
0,960	1,0417	0,9539	—0,0163	0,800	1,2500	0,4198	—0,0081
0,958	1,0438	0,9376	—0,0155	0,795	1,2579	0,4117	—0,0078
0,956	1,0460	0,0221	—0,0148	0,790	1,2658	0,4039	—0,0077
0,954	1,0482	0,9073	—0,0142	0,785	1,2739	0,3962	—0,0076
0,952	1,0504	0,8931	—0,0136	0,780	1,2821	0,3886	—0,0073
0,950	1,0526	0,8795	—0,0130	0,775	1,2903	0,3813	—0,0072
0,948	1,0549	0,8665	—0,0126	0,770	1,2987	0,3741	—0,0070
0,946	1,0571	0,8539	—0,0121	0,765	1,3072	0,3671	—0,0068
0,944	1,0593	0,8418	—0,0117	0,760	1,3158	0,3603	—0,0067
0,942	1,0616	0,8301	—0,0113	0,755	1,3245	0,3536	—0,0066
0,940	1,0638	0,8188	—0,0109	0,750	1,3333	0,3470	—0,0064
0,938	1,0661	0,8079	—0,0106	0,745	1,3423	0,3406	—0,0063
0,936	1,0684	0,7973	—0,0102	0,740	1,3514	0,3343	—0,0061
0,934	1,0707	0,7871	—0,0099	0,735	1,3605	0,3218	—0,0061
0,932	1,0730	0,7772	—0,0097	0,730	1,3699	0,3221	—0,0059

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

$\frac{1}{x}$	x	$\psi(x)$	Diferencia.	$\frac{1}{x}$	x	$\psi(x)$	Diferencia.
0,725	1,3793	0,3162	—0,0058	0,63	1,5873	0,2221	—0,0083
0,720	1,3889	0,3104	—0,0057	0,62	1,6129	0,2138	—0,0080
0,715	1,3986	0,3047	—0,0056	0,61	1,6393	0,2058	—0,0078
0,710	1,4085	0,2997	—0,0054	0,60	1,6667	0,1980	—0,0075
0,705	1,4184	0,2937	—0,0054	0,59	1,6949	0,1905	—0,0073
0,70	1,4286	0,2883	—0,0105	0,58	1,7241	0,1832	—0,0071
0,69	1,4493	0,2778	—0,0101	0,57	1,7544	0,1761	—0,0069
0,68	1,4706	0,2677	—0,0097	0,56	1,7857	0,1692	—0,0067
0,66	1,4925	0,2580	—0,0094	0,55	1,8182	0,1625	—0,0065
0,66	1,5152	0,2486	—0,0091	0,54	1,8519	0,1560	—0,0063
0,65	1,5385	0,2395	—0,0089	0,53	1,8868	0,1497	—0,0062
0,64	1,5625	0,2306	—0,0085				

Tabla XLII b). — Parte relativa á los remansos con depresión.

x	$\psi(x)$	Diferencia.	x	$\psi(x)$	Diferencia.	x	$\psi(x)$	Diferencia.
0,00	—0,6046	0,0100	0,26	—0,3434	0,0101	0,52	—0,0647	0,0117
0,01	—0,5946	0,0100	0,27	—0,3333	0,0103	0,53	—0,0530	0,0118
0,02	—0,5846	0,0100	0,28	—0,3230	0,0102	0,54	—0,0412	0,0119
0,03	—0,5846	0,0100	0,29	—0,3128	0,0102	0,55	—0,0293	0,0121
0,04	—0,5646	0,0100	0,30	—0,3025	0,0102	0,56	—0,0172	0,0122
0,05	—0,5546	0,0100	0,31	—0,2923	0,0104	0,57	—0,0050	0,0124
0,06	—0,5446	0,0100	0,32	—0,2819	0,0103	0,58	+0,0074	0,0125
0,07	—0,5346	0,0100	0,33	—0,2416	0,0104	0,59	0,0199	0,0126
0,08	—0,5246	0,0100	0,34	—0,2612	0,0104	0,60	0,0325	0,0129
0,09	—0,5146	0,0100	0,35	—0,2508	0,0105	0,61	0,0454	0,0130
0,10	—0,5046	0,0100	0,36	—0,2403	0,0105	0,62	0,0584	0,0132
0,11	—0,4946	0,0100	0,37	—0,2298	0,0106	0,63	0,0716	0,0135
0,12	—0,4845	0,0101	0,38	—0,2192	0,0106	0,64	0,0851	0,0136
0,13	—0,4745	0,0100	0,39	—0,2086	0,0106	0,65	0,0987	0,0140
0,14	—0,4645	0,0100	0,40	—0,1980	0,0108	0,66	0,1127	0,0141
0,15	—0,4545	0,0101	0,41	—0,1872	0,0107	0,67	0,1268	0,0145
0,16	—0,4444	0,0100	0,42	—0,1765	0,0109	0,68	0,1413	0,0147
0,17	—0,4344	0,0101	0,43	—0,1656	0,0109	0,69	0,1560	0,0151
0,18	—0,4243	0,0100	0,44	—0,1547	0,0109	0,700	0,1711	0,0076
0,19	—0,4143	0,0101	0,45	—0,1438	0,0111	0,705	0,1787	0,0077
0,20	—0,4042	0,0101	0,46	—0,1327	0,0111	0,710	0,1864	0,0079
0,21	—0,3941	0,0101	0,47	—0,1216	0,0112	0,715	0,1943	0,0079
0,22	—0,3840	0,0101	0,48	—0,1104	0,0113	0,720	0,2022	0,0080
0,23	—0,3739	0,0101	0,49	—0,0991	0,0113	0,725	0,2102	0,0082
0,24	—0,3638	0,0102	0,50	—0,0878	0,0115	0,730	0,2184	0,0082
0,25	—0,3536	0,0102	0,51	—0,0763	0,0116	0,735	0,2266	0,0084

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

x	$\psi(x)$	Diferencia.	x	$\psi(x)$	Diferencia.	x	$\psi(x)$	Diferencia.
0,740	0,2350	0,0084	0,902	0,6213	0,0076	0,968	1,0174	0,0222
0,745	0,2434	0,0086	0,904	0,6289	0,0077	0,970	1,0396	0,0116
0,750	0,2520	0,0087	0,906	0,6366	0,0079	0,971	1,0512	0,0120
0,755	0,2607	0,0090	0,908	0,6445	0,0080	0,972	1,0632	0,0125
0,760	0,2696	0,0089	0,910	0,6525	0,0082	0 973	1,0757	0,0129
0,765	0,2785	0,0092	0,912	0,6617	0,0084	0,974	1,0886	0,0184
0,770	0,2877	0,0093	0,914	0,6691	0,0085	0,975	1,1020	0,0140
0,775	0,2970	0,0094	0,916	0,6776	0,0088	0,976	1,1160	0,0145
0,780	0,3064	0,0096	0,918	0,6884	0,0089	0,977	1,1305	0,0152
0,785	0,3160	0,0098	0,920	0,6953	0,0092	0,978	1,1457	0,0158
0,790	0,3258	0,0099	0,922	0,7045	0,0093	0,979	1,1615	0,0166
0,795	0,3357	0,0102	0,924	0,7138	0,0096	0,980	1,1781	0,0174
0,800	0,3459	0,0103	0,926	0,7234	0,0098	0,981	1,1955	0 0184
0,805	0,3562	0,0106	0,928	0,7332	0,0101	0,982	1,2139	0,0194
0,810	0,3668	0,0108	0,930	0,7433	0,0104	0,983	1.2333	0,0205
0,815	0,3776	0,0110	0,932	0,7537	0,0106	0,984	1,2538	0,0219
0,820	0,3886	0,0112	0,934	0,7643	0,0110	0,985	1,2757	0,0233
0,825	0,3998	0,0116	0,936	0,7753	0,0113	0,986	1,2990	0,0251
0,830	0,4114	0,0118	0,938	0,7860	0,0116	0,987	1.3241	0.0270
0,835	0,4232	0,0121	0,940	0,7982	0,0120	0,988	1,3511	0,0293
0,840	0,4353	0,0125	0,942	0,8102	0,0124	0 989	1,3804	0.0321
0,845	0,4478	0,0127	0,944	0,8226	0 0128	0,990	1,4125	0,0355
0,850	0,4605	0,0132	0,946	0,8354	0,0133	0,991	1,4480	0,0396
0,855	0,4737	0,0135	0,948	0,8487	0,0137	0,992	1,4876	0,0448
0,860	0,4872	0,0140	0,950	0,8624	0 0143	0,993	1,5326	0,0517
0,865	0,5012	0,0144	0,952	0,8767	0,0119	0 994	1,5841	0,0611
0,870	0,5156	0,0149	0,954	0,8916	0,0155	0,995	1,6452	0 0748
0,875	0,5305	0,0154	0,956	0,9071	0,0162	0,996	1,7200	0,0962
0,880	0,5459	0,0160	0,958	0,9233	0,0169	0,997	1,8162	0,1355
0,885	0,5619	0,0166	0,960	0,9402	0,0178	0,998	1,9517	0,2314
0,890	0 5785	0,0173	0,962	0,9580	0,0187	0,999	2,1831	∞
0,895	0,5958	0,0174	0,964	0,9767	0,0198	1,000	∞	
0,900	0,6138	0,0075	0,966	0,9965	0,0209			

Casos más frecuentes que pueden resolverse con las fórmulas (33 *a*) y (33 *b*).

1.º Determinar la amplitud del remanso, ó sea la distancia á que se propaga el remanso.

2.º Determinar la altura del remanso en una sección cualquiera.

3.º Determinar la altura de la presa que produce un remanso dado en una sección determinada.

b) *Para cursos rectangulares de poco ancho y fondo no horizontal.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se deduce análogamente al caso precedente:

$$\frac{i_1}{p_u}\,s = x + \frac{P}{2\,p_u}\log_e\frac{(3n-2)(x-1)}{x^2+x+(3n-2)} - \frac{3\,P\,p_u+2\,R}{p_u{}^3\sqrt[3]{3(4n-3)}}\left(\operatorname{arc\,cot}\frac{2x+1}{\sqrt[3]{3(4n-3)}} - \operatorname{arc\,cot}\frac{1}{\sqrt[3]{3(4n-3)}}\right)$$

en la que

p_u = altura del nivel uniforme,
p = altura del nivel remansado,

$$x=\frac{p}{p_u};\quad 3n=\frac{l}{l+2\,p_u};\quad P=\frac{m\,p_u}{3\,m},$$

$$m=1-\frac{\alpha'_1 i_1}{g\,B_1}\cdot\frac{l}{l+2\,p_u};\quad R=p_u{}^2\left\{3(1-n)-\frac{m}{n}\right\},$$

l = ancho del curso.

c) *Para corrientes de sección trapecial.*—Este caso es el más interesante en la práctica. Se llega fácilmente á la siguiente ecuación diferencial, que no se ha logrado aun integrar con los medios actuales del análisis.

$$\frac{ds}{dp}=\frac{1-\dfrac{\alpha'_1 i_1}{g\,B_1}\dfrac{p_u{}^3(l+p_u\operatorname{tg}\gamma)^3}{p^3(l+p\operatorname{tg}\gamma)^3}\dfrac{l+\dfrac{2\,p_u}{\cos 2}}{}}{1-\dfrac{p_u{}^3(l+p_u\operatorname{tg}\gamma)^3}{p^3(l+p\operatorname{tg}\gamma)^3}\dfrac{l+\dfrac{2\,p_u}{\cos\gamma}}{l+\dfrac{2\,p}{\cos\gamma}}}$$

en la que

l = ancho en el fondo,
γ = ángulo de inclinación de los taludes,

d) *Para cauces rectangulares muy anchos, de fondo horizontal.*

$$s=\frac{1}{B_1 q^2}\left\{\frac{\alpha'}{g}q^2(p-p_0)-\frac{1}{4}(p^4-p_0{}^4)\right.,$$

$q=\dfrac{Q}{l}$ = gasto por metro lineal de anchura.

p_0 = valor de p correspondiente á $s=0$.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La curva del remanso es una parábola de cuarto grado convexa hacia arriba.

c) *Cauces rectangulares de fondo horizontal y poca anchura.*

$$s = \frac{l}{2 B_1 q}\left[\left\{\frac{\alpha' q^2}{g} + \left(\frac{1}{2}\right)^3\right] \log_e \frac{\frac{l}{2} + p}{\frac{l}{2} + p_0} - \frac{1}{3}(p^3 - p_0^3) + \right.$$

$$\left. + \frac{l}{4}(p^2 - p_0^2) - \left(\frac{l}{2}\right)^2 - (p - p_0)\right\},$$

siendo, como anteriormente, $Q = l\,q$ y $p = p_0$ para $s = 0$.

128. *Fórmulas de integración aproximada de Dupuit.*—Son aplicables sólo para pendientes muy pequeñas y velocidades muy débiles.

a) *Cauces rectangulares muy anchos.*

$$\frac{i_1 s}{p_u} = f\left(\frac{Y}{p_u}\right) - f\left(\frac{y}{p_u}\right),$$

en la que Y é y son la alturas del remanso sobre el nivel uniforme, encima de la presa y en un punto cualquiera de la curva de remanso.

La función f está representada por

$$f\left(\frac{p}{p_u}\right) = \frac{1}{3}\log_e\left(\frac{y}{p_u}\right) + 2\left(\frac{y}{3p_u}\right) + \left(\frac{y}{3p_u}\right)^2 -$$

$$- \left(\frac{y}{3p_u}\right)^3 + \frac{15}{4}\left(\frac{y}{3p_u}\right)^4 - \frac{36}{5}\left(\frac{y}{3p_u}\right)^5 + \ldots$$

y sus valores, para los diversos de $\left(\frac{y}{p_u}\right)$, dados por tablas que calculó Dupuit (no se insertan porque apenas se usan).

Si Y es muy pequeño respecto á p_u se tiene, simplificando:

Para remansos de elevación:

$$i_1 s = \frac{p_u + Y + q}{3}\log_e\frac{Y}{y} \approx \frac{P}{3}\log_e\frac{Y}{y},$$

siendo $P = p_u + Y$.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para remansos de depresión

$$i_1 s = \frac{p_u - Y - y}{8} \log_e \frac{y}{Y}.$$

b) *Cauces rectangulares de ancho pequeño.* – En la misma hipótesis de U muy débil y de Y muy pequeño respecto á p_u se tiene:

Para remansos de elevación.

$$i' s = Y - y + \frac{p_u}{3} \frac{y + \frac{3}{4} p_u}{q + \frac{3}{4} p_u} \log_e \frac{Y}{y}.$$

Para remansos de depresión.

$$i_1 s = y - Y + \frac{p_u}{3} \left(\frac{\frac{3}{4} p_u - y}{\frac{3}{4} p_u - Y} \right) \log_e \frac{Y}{y}.$$

129. *Fórmulas empíricas.*—La curva de remanso se determina por construcciones gráficas empíricas, dada la altura de agua sobre la presa. La unión de la curva de remanso con el nivel uniforme aguas abajo de la presa tiene escaso interés práctico.

1.er caso.—Sea $i_1 = \frac{g B_1}{\alpha'}$.

La línea del remanso es una recta; la amplitud hidrodinámica del remanso es igual á la amplitud hidrostática: $S = \frac{Y}{y_1}$.

2.º caso.—Sea $i_1 < \frac{g B_1}{\alpha'}$.

Collignon admite para curva de remanso un arco de circunferencia tangente al nivel uniforme y tangente á la horizontal en el punto C del nivel de agua sobre la presa. Resulta $S = 2 \frac{Y}{i_1} \sim$.

Fórmula de Poiré.

$$y = Y - i_1 s + \frac{s^2 i_1^2}{4 Y} \qquad (35)$$

Y = altura del remanso sobre la presa,
y = altura del remanso á la distancia s de la presa.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La curva de remanso es una parábola de segundo orden. Resulta

$$S = 2\frac{Y}{y_1}.$$

Fórmula de Funk.

$$y = 2\,Y - i_1 s \sqrt{Y\left(Y - \frac{i_1 s}{2}\right)} \tag{36}$$

Representa una parábola de eje horizontal.

Resulta $$S = \frac{3}{2}\frac{Y}{i_1}.$$

Fórmula de Quilhem.

$$y = Y\sqrt[3]{\frac{1}{1+\frac{4}{g}Y\left(\frac{i_1 s}{Y}\right)^6} + \left(\frac{i_1 s}{Y}\right)^7} - i_1 s.$$

Representa una hipérbola de grado noveno.

3.er *caso.*—Sea $i_1 > \frac{g\,B_1}{\alpha'}$.

Se supone generalmente como representación gráfica del salto de Bidone el arco de circunferencia tangente á la horizontal en el punto C del nivel sobre la presa y pasando por el punto D, en el que el remanso se dispone vertical. Este punto D se determina aproximadamente como intersección de dos rectas; una que pasa por C y con una inclinación sobre el horizonte de $i - g\,B_1$, y la otra paralela al fondo y á una altura sobre él de

$$p_1 = p_u\sqrt[3]{\frac{\alpha' i_1}{g\,B_1}}.$$

Resulta como amplitud del remanso:

$$S = \frac{p_u + Y - p_1}{2\,i_1 - g\,B_1}.$$

B) *Cauces de sección gradualmente variable.*

130. *Fórmulas de integración aproximada propuestas por Dupuit.*—Se han deducido por método bastante imperfecto y se apoyan en las dos hipótesis siguientes:

1.ª Constancia del radio medio, ó sea: $\frac{c}{\omega} = \frac{c_e}{\omega_e}$.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

2.ª Variación conoide del cauce, es decir:

$$\frac{\omega - \omega_1}{\omega_e - \omega_1} = \frac{l}{l_e} \quad \text{y} \quad \frac{\omega - \omega_0}{\omega_1 - \omega_0} = \frac{l}{l_0}.$$

a) *Aproximación gradual de las márgenes.*—En la fig. 42 aparece la forma que toma en este caso la curva de remanso.

Sean: y = remanso aparente,

y_1 = depresión en el punto de máximo estrechamiento,

$y_0 = y - y_1$ = remanso real,

ω_0 = sección antes del estrechamiento,

ω_1 = sección de máximo estrechamiento,

ω_e = sección al final del estrechamiento,

b_0 = ancho antes del estrechamiento,

b_1 = ancho en el estrechamiento,

b_e = ancho después del estrechamiento,

u_0 = velocidad antes del estrechamiento,

u_1 = velocidad en el estrechamiento,

u_2 = velocidad después del estrechamiento,

l_0 y l_1 las distancias entre las secciones ω_0 y ω_1; ω_1 y ω_e

Se tiene

$$= \frac{u_e^2}{2g} \left\{ 1 - \left(\frac{u_1}{u_e} \right)^2 \right\} - i_1 l_1 \left(1 - \frac{\omega_e}{\omega_1} \right)$$

$$= \frac{u_e^2 - u_0^2}{2g} - i(l_0 + l_1) + i_1 \frac{\omega_e}{\omega_1} \left(l_1 + \frac{\omega_e}{\omega_0} l_0 \right)$$

$$u_0 = \frac{\omega_e p_e b_e}{p_0 b_0} = \frac{u_e p_e b_e}{b_0 (p_e + y_0)}$$

$$\omega_0 = p_0 b_0 = b_0 (p_e + y_0).$$

b) *Ensanche gradual de las márgenes.*—Sirven las mismas fórmulas precedentes, en la figura está indicada por una línea de puntos la forma de la curva del remanso.

y_1 resulta siempre negativo, lo que indica un remanso de depresión.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

c) *Elevación gradual del fondo* (fig. 43).—Supóngase que, quedando inalterables las márgenes, el fondo de un curso de agua presenta una elevación, como sería el depósito de los acarreos en

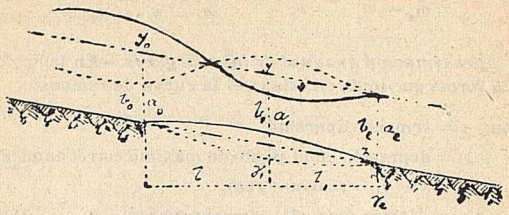


Fig. 43. (*)

una crecida. Se tendrá un remanso y una depresión como en el caso precedente:

$$y_1 = i_1 \left\{ l_1 \left(\frac{\omega_e\ (\omega_e + \omega_1)}{2\,\omega_1^2} - l_0 \right) k - p_e \left(\frac{\omega_e^2}{\omega_1^2} - 1 \right) \right\}$$

en la que

$$k = \frac{\chi^2}{2\,g} \quad \text{con} \quad \chi = \frac{1}{\sqrt{B_1}}$$

$$a_0 = l\,h_0 = l\,(h_2 + y_0) \qquad (12)$$

$$y_0 = \frac{u_e^2 - u_0^2}{2\,g} - i_1\,(l_0 + l_1) +$$

$$\frac{1}{2} + i_1 \frac{\omega_e}{\omega_1} \left[l_1 \frac{\omega_e + \omega_1}{\omega_1} + l \left(\frac{\omega_0}{\omega_1} \right)^2 \frac{\omega_0 + \omega_1}{\omega_1^2} \right]$$

para $\omega_0 = \omega_e$ se tiene

$$y_0 = i_1\,(l + l_1) \left\{ \frac{\omega_e}{\omega_1} \cdot \frac{\omega_e + \omega_1}{\omega_1} - 1 \right\}$$

Los valores de y_0 y de y_2 se obtienen, como anteriormente, por aproximaciones sucesivas. El remanso es siempre de elevación.

d) *Descenso gradual del fondo.*—Sirven las mismas fórmulas anteriores; en la figura aparece representada la forma del remanso, que es siempre de depresión.

(*) *Nota.* En las figuras 42, 43 y 44 la letra α debe sustituirse por la ω.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

e) *Estrechamientos ó alargamientos paralelos* (fig. 44).—Se procede de aguas abajo hacia aguas arriba, aplicando oportuna-

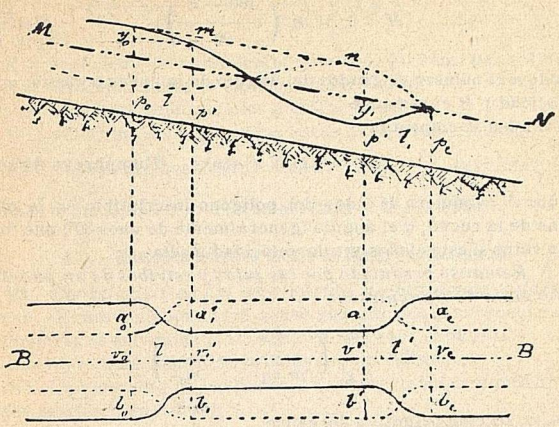


Fig. 44

mente en los diversos tramos las fórmulas de Bresse ó las de la variación gradual.

f) *Elevación ó descenso paralelo del fondo.*—Se razona análogamente al caso anterior.

131. *Remansos especiales en la práctica.*—La amplitud se determina siempre como se ha dicho antes.

1.º *Remanso debido á un cambio de pendiente* (fig. 45).

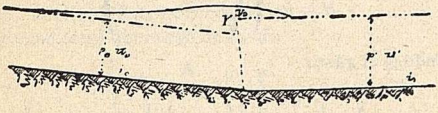


Fig. 45.

$$y = \frac{U_0^2 - U_1^2}{2\,g} \qquad Y = y + p_2 - p_1$$

Si $p_1 = p_0 \sqrt[3]{\frac{i_0^2}{i_1^2}}$ $\qquad y = \frac{v_0^2}{2\,g}\left(1 - \frac{p_1^2\, b_1^2}{b_0^2\,(p_1 + y)}\right)$

2.º *Remanso debido á una curva ó vuelta.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El remanso y también en las crecidas, debido á las curvas y vueltas, está dado por la

$$H = 0{,}051\ u^2 \left(\frac{180 - n}{90}\right) \qquad \text{(Vechi)},$$

siendo n el número de grados del ángulo de la curva ó vuelta, u la velocidad y H el remanso.

También se emplea la

$$H = 0{,}25\ N v^2 \operatorname{sen}^2 \alpha \quad \text{(Humphreys Abbot)}$$

en que N = número de lados del polígono inscriptible en la mediana de la curva, α el ángulo (generalmente de unos 30°) que forman entre sí estos lados y v la velocidad media.

3.° *Remanso producido por las pilas y estribos de un puente. Fórmula de Daubuisson.*

$$Y = \frac{Q^2}{2\,g}\left(\frac{1}{m\,\omega_1{}^2} - \frac{1}{\omega_0{}^2}\right)$$

ω_0 = sección primitiva del cauce,

ω_1 = sección reducida á causa del puente,

m = coeficiente de contracción que varía con la modalidad del puente; es menor para los tajamares agudos que para los redondeados; crece con el número de arcos; en general, m varía de 0,85 á 0,95.

Fórmula de Dupuit.

Siendo h_0 la altura de agua primitiva, l_2 el ancho primitivo y l_1 el ancho de sección contraída, se tendrá:

$$H = h_0\left(\sqrt{\frac{l_0}{l_1}} - 1\right)$$

ó bien siendo Q el gasto:

$$Q = l_0\sqrt{2\,g}\left\{\mu\left[(H+a)^{\frac{3}{2}} - a^{\frac{3}{2}}\right] + \mu_1 h_2\sqrt{H+a}\right\}$$

en la que $\mu = 0{,}60$; $\mu_1 = 0{,}90$; $a = \dfrac{v^2}{2\,g}$.

4.° *Remanso producido por un sifón.*—Equivale, no sólo á la pérdida de carga debida al rozamiento, sino al cambio de sección á la entrada y salida del sifón y á los cambios de dirección del canal ó tubo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Fórmula de Nazzani.

$$(37) \qquad Y = \frac{K\,L\,Q^2}{D^5} + \alpha\,\frac{U^2}{2\,g} + (3\,\alpha + \alpha_1)\,\frac{W^2}{2\,g}$$

en la que

K = coeficiente de rozamiento; vale $\sim 0{,}004$ (núm. 106 ÷ 110),

U = velocidad del agua en el trozo horizontal,

α = coeficiente relativo á los ángulos y codos,

W = velocidad del agua en las bocas de entrada y salida,

α_1 = coeficiente que depende de la relación $\frac{\omega}{\Omega}$ entre las secciones ω del sifón en la desembocadura y Ω del canal.

§ 9.—Nociones sobre la teoría de las aguas filtrantes.

132. *Características del movimiento de las aguas subterráneas.*—El movimiento de las aguas filtrantes en el subsuelo puede asimilarse al movimiento del agua en los tubos capilares.

Las leyes fundamentales de éstos son las siguientes:

1.ª La velocidad de los filetes es constante de un punto á otro de la sección transversal.

2.ª El rozamiento interno es despreciable respecto al exterior.

El gasto de una corriente filtrante subterránea se deduce de la fórmula

$$(38) \qquad Q = k\,\lambda\,\omega\,i,$$

derivado de la $R_m\,i = 2\,b\,u$ (véase núm. 106 *d*).

en la que $\lambda = \frac{\omega_1}{\omega}$ = coeficiente de saturación.

$K = \frac{R_m}{\alpha}$ = coeficiente de permeabilidad.

ω_1 = sección líquida de la corriente.

ω = sección total del curso de agua.

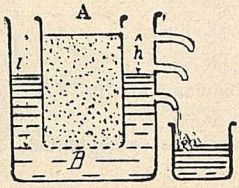


Fig. 46.

133. *Determinación de los coeficientes* λ *y* K.

Coeficiente λ (fig. 46).—Un recipiente $A\ B$ contiene una mues-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tra de la substancia cuyo coeficiente se quiere determinar; se vierte en él agua hasta que rebase, se sustituye después el fondo B por una rejilla y se deja salir el líquido. La relación $\frac{v'}{v}$ entre el volumen del líquido salido y el volumen total de la substancia empapada es igual á la relación $\frac{\omega_1}{\omega} = \lambda$.

Agua de absorción se llama á la cantidad de agua retenida por la substancia.

El coeficiente λ varía entre los límites 0,010 para terrenos arcillosos y 0,250 para terrenos de grava.

Como término medio puede suponerse $\lambda = 0{,}15$.

Coeficiente K. – De la $Q = k\,\lambda\,\omega\,i$ se deduce en el caso del experimento precedente

$$K = \frac{Q\,l}{\lambda\,\omega\,h},$$

siendo ω la sección transversal del recipiente $A\,B$; Q el gasto que sale y se mide; i está dado, evidentemente, por la relación $\frac{h}{l}$.

El coeficiente K es muy variable y depende de la naturaleza del terreno. Puede admitirse:

Para terrenos de grava y arena..... $d = 2^{m}/_{m}$ $k = \frac{1}{30}$

Para íd. de arena homogénea..... $d = 1^{m}/_{m}$ $k = \frac{1}{100}$

Para íd. íd. media..... $d = \frac{1}{2}{}^{m}/_{m}$ $k = \frac{1}{370}$

Para íd. íd. fina..... $d = \frac{1}{4}{}^{m}/_{m}$ $k = \frac{1}{1700}$

Para íd. mezcla de arena fina y arcilla. $d = \frac{1}{4} \div \frac{1}{10}{}^{m}/_{m}$ $k = \frac{1}{6000}$

Con diversos experimentos se ha hallado que K varía con la pendiente i:

Para arenas de $0{,}54^{m}/_{m}$. é $i = 0{,}237$ $k = 0{,}00309$
Para íd. de íd..... é $i = 0{,}95$ $k = 0{,}00335$
Para íd. de íd..... é $i = 1{,}60$ $k = 0{,}00325$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Como valor medio puede admitirse $k = \frac{3}{1000}$.

Conviene en cada caso determinar los valores de k y λ. Para la determinación práctica, véase núm. 145.

A).—**Movimiento uniforme en las aguas filtrantes.**

134. *Filtros de filetes verticales.*—Son análogos á los aparatos descritos antes (fig. 47).

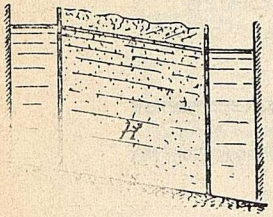


Fig. 47.

$$Q = \lambda k \frac{h}{l}.$$

135. *Filtros de filetes horizontales* (fig. 48).

$$Q = k \lambda a H i$$

a=longitud del canal receptor, H=altura constante de la capa

Aplicación á las galerías filtrantes transversales (figuras 48 y 49).

$$Q = k \lambda a H i \qquad (39)$$

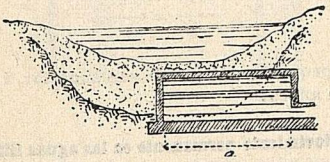


Fig. 48.

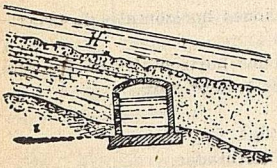
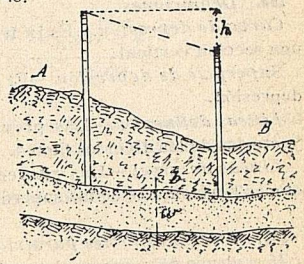


Fig. 49.



Fg. 50.

Generalmente la incógnita es la longitud a de la galería.

Manantiales ó fuentes artesianas.—Se deben á una capa permeable comprendida entre dos capas impermeables (fig. 50).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El movimiento es uniforme, pero á presión. Se tiene

$$Q = k \lambda \omega \frac{h}{l};$$

en la que h es el desnivel piezométrico entre dos puntos de la capa distantes l.

Manantiales ó fuentes de ladera.—Se deben á un cambio de pendiente en la capa subterránea (fig. 51).

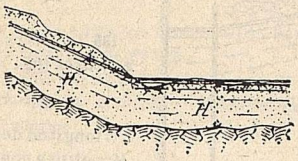


Fig. 51.

$$Q = k \lambda H i' = k \lambda H' i,$$

sea

$$\frac{H}{H'} = \frac{i}{i'}.$$

Si i' es muy pequeño, H' puede ser superior á la altura de la capa, y el agua aflora.

B).—Movimiento permanente en las aguas filtrantes.

136. *Definiciones.*

Curva de depresión.—Es la trayectoria del filete superior en una sección vertical.

Superficie de depresión.—El lugar de las diversas curvas de depresión.

Líneas defluentes.—Las proyecciones horizontales de las trayectorias de los diversos filetes.

Líneas de nivel.—Las proyecciones horizontales de las secciones horizontales de las superficies de depresión.

137. *Filtros de filetes paralelos* (figs. 52 y 53).

H = altura del agua en el canal alimentador,
Z = " " receptor,
z = altura del agua variable en la capa intermedia,
a = longitud del canal,
R = radio de depresión ó distancia de los canales,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se tiene:

$$(40\ a) \qquad Q = k\,\lambda\,a\,\frac{H^2 - Z^2}{2\,R}.$$

Las líneas de afluencia son rectas normales á los dos canales.
Las líneas de nivel son rectas paralelas á los dos canales.

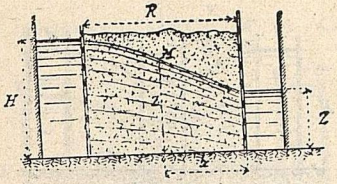


Fig. 52.

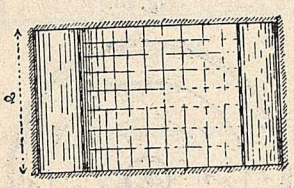


Fig. 53.

La curva de depresión es una parábola, cuya ecuación es:

$$(40\ b) \qquad x = R\,\frac{z^2 - Z^2}{H^2 - Z^2} = \frac{k\,\lambda\,a\,(z - Z^2)}{2\,Q}.$$

Aplicación á las galerías filtrantes longitudinales de gran longitud y servicio constante.—Se usan las fórmulas precedentes.

En general se da el gasto Q que se quiere derivar, siendo la incógnita la longitud a.

138. *Filtros circulares.*—Se usan poco. Consisten en un pozo central y un canal circular concéntrico (figs. 54 y 55).

Las líneas de afluencia son radios que parten del centro del pozo central.

Las líneas de nivel son circunferencias concéntricas al sistema.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Si r y R son los radios respectivos del pozo central y del círculo que constituye la margen interna permeable del canal, se tiene:

$$(41\,a) \qquad Q = \frac{k\,\lambda\,\pi\,(H^2 - Z^2)}{\log_e \frac{R}{r}}$$

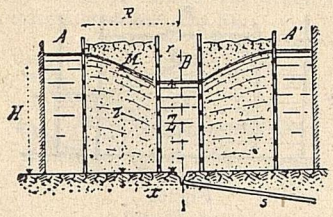


Fig. 54.

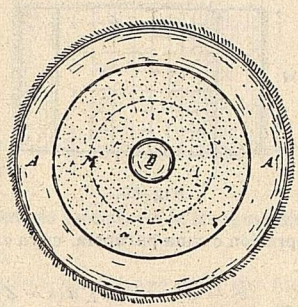


Fig. 55.

y la curva de depresión tiene la ecuación:

$$(41\,b) \qquad z = H \sqrt{\frac{Z^2}{H^2} + \left(1 - \frac{Z^2}{H^2}\right) \frac{\log_e \frac{x}{R}}{\log_e \frac{R}{r}}}$$

Aplicación á los pozos ordinarios.—Las fórmulas precedentes sirven para los pozos ordinarios, en los que es desconocido el radio de depresión R.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En general se toma como valor medio de la cantidad $\frac{\pi}{\log_e \frac{R}{r}}$

el valor de 0,50 y se tiene para el cálculo del gasto en los pozos ordidarios la fórmula

(42) $$Q = 0{,}5\ k\ \lambda\ (H^2 - Z^2).$$

139. *Filtros circulares á presión* (fig. 56).—Conservando las

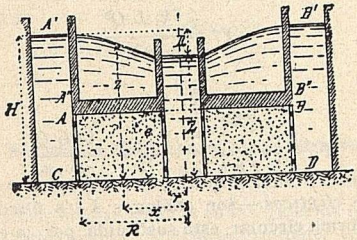


Fig. 56.

mismas notaciones, si e es el espesor constante de la capa filtrante, se tiene:

(43 *a*) $$Q = \frac{2\ k\ \lambda\ \pi\ e\ (H - Z)}{\log_e \frac{R}{r}}$$

La curva de depresión tiene por ecuación:

(43 *b*) $$z = Z + (H - Z)\ \frac{\log_e \frac{x}{r}}{\log_e \frac{R}{r}}$$

Aplicación á los pozos artesianos.—Para ellos se aplican las fórmulas precedentes.

Si el pozo termina en una semiesfera de radio a, suponiendo $H - Z = Y$, se tiene:

(44 *a*) $$Q = 2\ \pi\ k\ \lambda\ a\ Y$$

Si el pozo termina en el límite superior de la capa, será:

(44 *b*) $$Q = 4\ \pi\ k\ \lambda\ r\ Y$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Si el pozo es muy profundo, hay que tener también en cuenta la pérdida Y' por rozamiento, y será:

$$Y'' = Y + Y'$$

Y'' es la pérdida de carga efectiva; luego

$$Q = 2\,k\,\lambda\,\pi\,e\,\frac{Y'' - Y'}{\log_e \frac{R}{r}}$$

Siendo

$$Y' = \frac{k_1\,L\,Q^2}{(2\,r)^5}$$

se tendrá:

(44 c)
$$Y'' = \frac{\log_e \frac{R}{r}}{2\,k\,\lambda\,\pi\,e}\,Q + \frac{k_1\,L\,Q^2}{(2\,r)^5}$$

140. *Filtros elípticos.*—Son análogos á los filtros circulares, salvo que la forma circular está sustituída por la elíptica de semiejes A y B para el canal alimentador, a y b para el pozo receptor; las líneas de afluencia son hipérbolas homofocales con las elipses dichas; las líneas de nivel, elipses también homofocales con las precedentes (fig. 57).

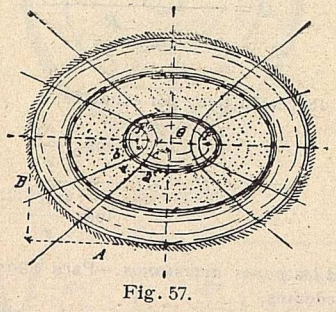


Fig. 57.

El gasto está expresado por

(45)
$$Q = k\,\lambda\,\pi\,\frac{H^2 - Z^2}{\log_e \frac{A + B}{a + b}}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los filtros elípticos no se usan en la práctica; pero son el fundamento de la teoría de las

Galerías filtrantes de corta longitud.—En la fórmula precedente, si se hace $a = c =$ semidistancia focal y $b = 0$, se tendrá:

(46 *a*) $$Q = k \lambda \pi \frac{H^2 - Z^2}{\log_e \frac{A + B}{c}}$$

Si el canal alimentador fuese circular de radio R, resultaría $A = B = R$; luego

(46 *b*) $$Q = k \lambda \pi \frac{H^2 - Z^2}{\log_e \frac{2R}{c}}$$

C).—Movimiento variado en las aguas filtrantes.

141. *Casos en que se verifica el movimiento variado.*

El movimiento variado se verifica en las galerías y presas descritas antes, cuando prestan servicio intermitente (véase riegos, drenage), es decir, cuando se extrae el agua de un depósito subterráneo que se llena y vacía periódicamente.

Las consideraciones siguientes se refieren á la hipótesis de que la capa impermeable, base, sea horizontal ó casi horizontal:

$$i < 0{,}04 \div 0{,}05.$$

Para pendientes mayores el probema es muy complejo (véase números 146 y 147).

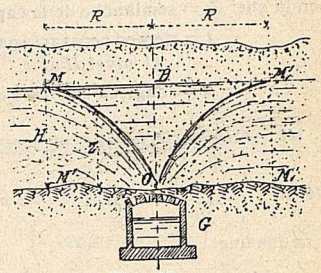


Fig. 58.

142. *Galerías intermitentes de gran longitud.*

a) *Caso de la capa indefinida* (fig. 58).

(47 *a*) $$Q = \frac{1}{3} \lambda \alpha R H$$

(47 *b*) $$R = \sqrt{3 K H t}\,.$$

En general, se dan el gasto Q, que se debe obtener, y el tiempo t

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en que debe efectuarse. Conocidos la altura H de la capa y los coeficientes K y λ se determina la longitud a, que debe darse á la galería.

b) *Caso de la capa limitada* (fig. 59).— Si la capa está limitada en ancho é igual á $2\,L$ (caso de los drenajes), se tiene:

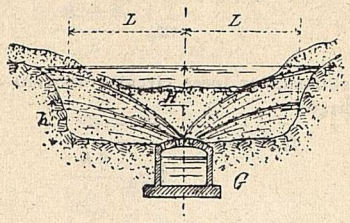


Fig. 59,

(48 *a*) $$Q = \lambda\, a\, L \left(H - \frac{2}{3} h \right)$$

(48 *b*) $$t = \frac{L^2}{K} \left(\frac{4}{3\,h} - \frac{1}{H} \right),$$

en la que: L = semiancho de la capa limitada,

t = tiempo necesario para que el agua descienda desde el nivel H al h.

a = longitud que debe darse á la galería.

148. *Filtros circulares con movimiento variado.*

(49 *a*) $$Q = \pi\, \lambda\, r^2\, H\, A_S\,; \qquad t = \frac{r^2}{k\, H} B_S \log_e \frac{R}{r}$$

en las que:

(49 *b*) $$A_S = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\left(2 \log_e \frac{R}{r} \right)^n}{n\,!\,(2\,n+1)}\,;$$

$$B_S = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{n \left(2 \log_e \frac{R}{r} \right)^n}{n\,!\,(2\,n+1)\,(n+1)}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

144 *Filtros elípticos con movimiento variado.*

$$Q = \frac{1}{2} \lambda \pi H \left\{ (a^2 + b^2) C_S + 2 a b D_S \right\};$$

$$t = \frac{\log_e \dfrac{A+B}{a+b}}{2 k H} \left\{ (a^2 + b^2) E_S + 2 a b F_S \right\}$$

en la que

$$C_S = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\left(2 \log_e \dfrac{A+B}{a+b} \right)^{2n-1}}{(4n-1)(2n+1)!};$$

$$D_S = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\left(2 \log_e \dfrac{A+B}{a+b} \right)^{2n}}{2n!(4n+1)}$$

$$E_S = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2^{2n-1} (2n-1) \log_c{}^{2n-1} \dfrac{A+B}{a+b}}{2n(4n-1)(2n-1)!}$$

$$F_S = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2^n (2n) \log_e{}^{2n} \dfrac{A+B}{a+b}}{(2n+1)(4n+1) 2n!}$$

Aplicación á las galerías filtrantes (de poca longitud) con movimiento variado.

$a = c;\ b = 0$:

(50 *a*) $$Q = \frac{1}{2} \lambda \pi H \, c^2 \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\left(2 \log_e \dfrac{A+B}{c} \right)^{2n-1}}{(2n+1)!(4n-1)}$$

(50 *b*) $$t = \frac{c^2 \log_e \dfrac{A+B}{c}}{2 k H} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(2n-1) \left(2 \log_e \dfrac{A+B}{c} \right)^{2n-1}}{(2n-1)!(4n-1) 2n}$$

145. *Determinación en el campo de los coeficientes K y λ (figu-*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ras 60 y 61).—Se trata de determinar los coeficientes K y λ en un terreno gravoso, del cual se conocen por ensayos previos las curvas horizontales (cotas) del nivel freático. Se empieza por practicar un pozo central (que puede ser un pozo Northon de

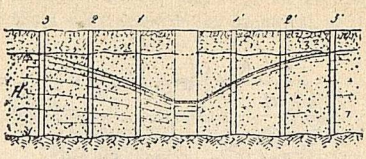


Fig. 60.

20 ÷ 30 cm. de diámetro, ó bien un pozo ordinario ataludado, hasta la capa impermeable; después, según dos ejes normales, uno en dirección de las horizontales acotadas y el otro normal (según la

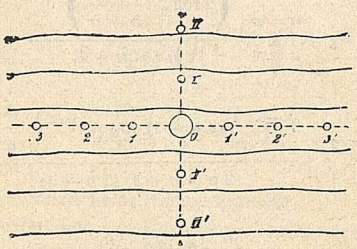


Fig. 61.

máxima pendiente), se perforan otros pozos menores (de unos 5 centímetros) y á distancias crecientes alejándose del centro O.

En los diversos pozos se ponen flotadores con varilla hidrométrica, de modo que en cada uno pueda leerse la altura del agua. En el pozo central se aplica una bomba y se extrae el agua que llega á él. A intervalos determinados de tiempo, señalados por un cronómetro que marque décimas de segundo, se mide el gasto q de la bomba y simultáneamente se miden las alturas de agua en los diversos pozos; se tienen así las cuatro curvas de depresión, según los dos ejes normales en cada instante. La media aritmética de las distancias del pozo central á los cuatro puntos de intersección de estas cuatro curvas con el nivel primitivo se admite es el radio de depresion R relativo al instante t. Se continúa hasta que el gasto q de la bomba es constante y permanecen constantes los niveles de los cuatro pozos extremos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se construye entonces un diagrama que tenga por abscisas los tiempos t y por ordenadas los gastos q; la integral de éste será el diagrama del gasto Q, ó cantidad de agua extraída desde el origen del experimento hasta el instante; con las mismas abscisas se construye después el diagrama de los radios de depresión R. Entonces se tiene para cada instante t los valores Q y R, que sustituídos en las fórmulas

$$\lambda = \frac{Q}{\pi r^2 H A_S}, \qquad K = \frac{r^2 B_S \log_e \frac{R}{r}}{H t},$$

dan los valores buscados de λ y de K.

Estas fórmulas corresponden á las (49 *a* y 49 *b*) deducidas en el número 143, en la cual los valores de A_e y B_e están dados en función de R y r (radios del pozo central).

Se repite varias veces la misma operación para diversos valores de t y se halla la media de los obtenidos aplicando la teoría de los mínimos cuadrados.

D) *Movimiento de las aguas filtrantes sobre un fondo impermeable inclinado.*

146. *Movimiento permanente en pendiente* (figs. 62 y 93).

a) *Movimiento en el sentido de la pendiente.*—Ecuación diferencial de la curva de depresión.

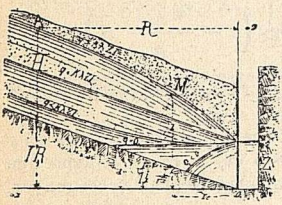


Fig. 62.

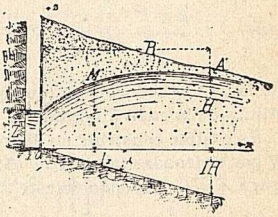


Fig. 63,

$$q = k \lambda (z - I x) \frac{d z}{d x}.$$

Integrada, da:

$$(51)\quad I x = z - \frac{q}{k \lambda I} - \left(Z - \frac{q}{k \lambda I}\right) e^{-\frac{k \lambda I}{q}(z - Z)}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en la que

q = gasto por 1" del movimiento permanente,
I = pendiente del fondo impermeable,
x y z = coordenadas de la curva de depresión (fig. 62),
Z = altura del agua en el canal receptor.

Para $q = k\,\lambda\,Z\,I$ se tiene el movimiento uniforme, y la curva (**51**) está representada por una recta paralela al fondo y á la altura Z.

Para $q > k\,\lambda\,Z\,I$ la curva (**51**) es convexa hacia arriba y toda ella superior al nivel uniforme.

Para $q < k\,\lambda\,Z\,I$ la curva (**51**) es cóncava hacia arriba y toda ella inferior al nivel uniforme.

Para $q = 0$ la curva (**51**) se reduce á la horizontal $z = Z$.

Para $q < 0$ la curva (**51**) es toda inferior á la horizontal $z = Z$, y el canal alimentado se convierte en alimentador.

Para $I = 0$ se obtiene $x = \dfrac{k\,\lambda\,(z^2 - Z^2)}{29}$ como en el núm. 137.

Si Z es despreciable (caso de las alcantarillas en el campo y de las galerías filtrantes), se tiene:

$$(52) \qquad I\,x = z - \frac{q}{k\,\lambda\,I}\left(1 - e^{-\frac{k\,\lambda\,I}{q}\,z}\right)$$

Para $x = R \qquad z = H + I\,R$ se tiene:

$$(53) \qquad \frac{k\,\lambda\,I}{q}\,(H + I\,R) = -\log_e\left(1 - \frac{k\,\lambda\,I}{q}\,H\right),$$

de la que se deduce q en función de R, radio de depresión, y de H, altura de la capa filtrante.

Es posible construir un diagrama que tenga por abscisas las x y por ordenadas las z de la (**52**); esto es, la curva de depresión para $Z = 0$. Leyendo en este diagrama en escala n veces mayor, es decir, para $x_1 = \dfrac{x}{n}$; $z_1 = \dfrac{z}{n}$ se obtiene la curva correspondiente á $n\,k$, $n\,\lambda$, $\dfrac{q}{n}$; análogamente para tener la curva correspondiente á $n\,I$ bastará reducir en dicho diagrama las ordenadas á $\dfrac{1}{n}$ y las abscisas á $\dfrac{1}{n^2}$ de las precedentes.

b). *Movimiento en sentido contrario á la pendiente del fondo.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Por aproximación se considera sólo el movimiento del agua sobre el horizontal, y así el problema se reduce al caso de $I = 0$. (Véase el núm. 137.)

147. *Movimiento variado en pendiente.*—Conductos absorbentes de gran longitud (fig. 64).

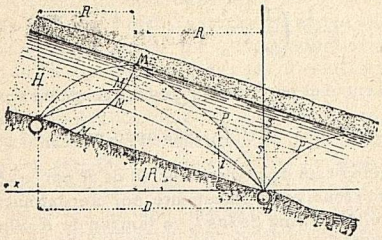


Fig. 64.

a) *Curva de depresión aguas arriba.*—Se busca el valor ordinario de Q en función de R y R en función de t, siendo: Q = cantidad de agua absorbida en el tiempo t, en el cual el radio de depresión ha alcanzado el valor R.

En la fig. 64 se determina el área

$$P\,S\,O = \int_0^x x\,d\,z - \frac{1}{2} I x^2$$

y se integra poniendo para x su valor dado por la (**52**). Se tendrá:

(54) $$Q = \lambda\, l \text{ área } P\,S\,Q =$$

$$= \frac{l\,q^2}{2\,K^2\,\lambda\,I^3}\left\{1 - \left(1 - \frac{K\,\lambda\,I\,H}{q}\right)\left[\left(1 - \frac{K\,\lambda\,I\,H}{q}\right) - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \log_e \left(1 - \frac{K\,\lambda\,I\,H}{q}\right)^2\right]\right\},$$

en la que q está dado en función de R por la (**53**).

Para tener R en función de t se pone: $\dfrac{d\,Q}{d\,q}\,d\,q = l\,(q - q_1)\,d\,t$,

siendo $q_1 = K\,\lambda\,H\,I$ es el volumen de agua debido al movimiento

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

uniforme que alimenta la capa. Integrando se obtiene:

$$(55)\qquad t=\frac{1}{K^2\,\lambda\,I^3}\left\{(2\,q-3\,q_1)\log_e\left(1-\frac{q_1}{q}\right)+\right.$$

$$+2\,q_1+q_1\left[\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{q_1^2}{q^2}+\frac{1}{3}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}\right)\frac{q_1^3}{q^3}+\right.$$

$$\left.\left.+\ldots+\frac{1}{n}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\ldots+\frac{1}{n}\right)\frac{q_1^n}{q^n}+\ldots\right]\right\}.$$

La serie entre el paréntesis [ ] es convergente y su resto r_n á partir del término n^{mo}. U_n está dado por $r_n<\dfrac{q-q_1}{q}\,U_n$.

Aquí también está dado q en función de R por la (**53**).

La (**55**) se resuelve gráficamente por aproximaciones. Es notable cómo el diagrama de las t, en función de R difiere muy poco de la línea recta.

b) *Curva de depresión aguas abajo.*—Se deduce por un procedimiento análogo, siendo Q' el gasto absorbido cuando el radio de depresión ha alcanzado el valor R'.

$$(56)\qquad Q'=\frac{k\,\lambda}{b}\,R'\,(2\,H+I\,R'),$$

y supuesto

$$\frac{d\,Q}{d\,R'}\,d\,R'=l\,(q+q_1)\,d\,t.$$

$$(57)\quad t=\frac{2}{3\,k\,I}\left\{R'+\frac{H}{2\,I}\log_e\left(1+\frac{I^2\,R^2}{H^2}\right)-\frac{H}{l}\,\text{arc tag}\,\frac{I\,R'}{H}\right\}.$$

El tiempo empleado para que el agua se agote hasta la horizontal, es:

$$t=0{,}3745\,\frac{H}{k\,I^2}.$$

Caso de varios conductos absorbentes.—Es interesante la determinación del lugar de los puntos de encuentro de las curvas de depresión de aguas arriba y aguas abajo, respectivamente, de los dos conductos adyacentes. Esto se obtendría con la condición de que la suma de R y R' fuese igual á la distancia D de los dos conductos.

En la práctica es también interesante la determinación de la altura mínima de desecación al cabo de un tiempo t, dada la profundidad y la distancia de los conductos, así como también la deter-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

minación de la distancia de éstos cuando se conocen los otros elementos. Estas investigaciones son relativas al problema práctico de los drenajes y avenamiento.

148. *Estudios recientes sobre las aguas filtrantes.*—Las fórmulas precedentes son de *La teoría de las aguas filtrantes*, de Torricelli.

Teóricamente, el estudio más importante es el de Nourthier, que, como el de Smreker y otros autores, se apoya en la hipótesis de que sea $u = k\sqrt{i}$ y no $u = k\,i$, como admitieron Darcy y Dupuit y como se ha supuesto en todas las fórmulas y en todos los resultados dados en los números precedentes. A pesar de los muchos experimentos hechos, no están aún de acuerdo los autores sobre la ley fundamental del movimiento de las aguas filtrantes. Quizá pudiera satisfacer la ley $u\,k\,i^m$ si m tuviese valores variables para los diversos casos. Lo único cierto es que la ley Dupuit Darcy simplifica bastante los cálculos y sirve muy bien entre los límites de aproximación que consiente la naturaleza del problema.

§ 10.—**Instrumentos de medición.**

A) *Hidrómetros.*

149. *Hidrómetros.*—Sirven para indicar la altura del agua respecto á un plano de referencia fijo horizontal.

Hidrómetros de varilla (fig. 65).—Constan, en general, de una varilla de madera (ó un hito de piedra) vertical ó inclinado, según el talud de la margen, y graduada verticalmente. El *cero* de la graduación se corresponde, en general, con el fondo del curso de agua ó el nivel del máximo estiaje ó con una señal ó referencia en las márgenes

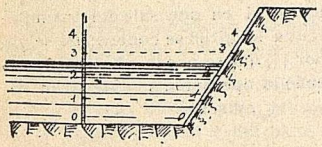


Fig. 65.

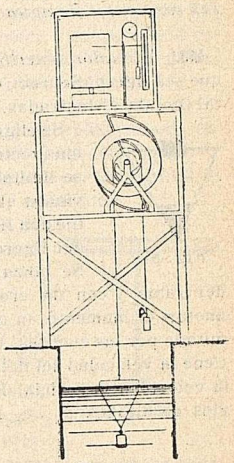


Fig. 66.

Hidrometrógrafos.—Los hidrómetros más perfeccionados ó hi-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

drometrógrafos constan de dos aparatos, uno transmisor y otro registrador; el primero se coloca en el agua en pozos especiales y se reduce á un flotador que, con sus oscilaciones, transmite las indicaciones de las variaciones del nivel del agua; el otro, dispuesto en una caseta especial, recibe mécanica ó eléctricamente esas indicaciones, describiendo automáticamente sobre un papel (que se arrolla por un mecanismo de relojería) el diagrama de alturas de agua respecto al tiempo.

El aparato propuesto por Bazin (fig. 66) da directamente el gasto en función de las alturas hidrométricas. Transforma las señales hidrométricas en señales de gasto. Una varilla, movida por un flotador, se apoya superiormente en el contorno curvilíneo de una superficie convenientemente nivelada y móvil alrededor de un punto. Esta curva de contorno representa en coordenadas polares la ecuación de la curva de gastos de la corriente; de ese modo las indicaciones hidrométricas se transforman en indicaciones de gasto transmitidas al aparato registrador.

Este aparato es muy conveniente en las tomas de agua de conducciones.

B) *Taquímetros ó reómetros.*

I categoría.—Aparatos que miden la velocidad superficial de las corrientes de agua.

150. *Flotador sencillo.*—Puede servir cualquier cuerpo con tal que sea ligero. Se usan conos pequeños (fig. 67) ó esferas de metal (hojalata) lastradas.

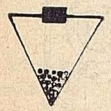


Fig. 67.

Se elige un tramo de río de unos 100 metros, lo más recto posible; se mide sobre él una longitud; se limitan los extremos con dos cuerdas que atraviesen el río, atadas á estacas ú otro medio que fije una línea. El aire debe estar en calma; el flotador ligero, bien visible y que sobresalga del agua. Se lanza al río aguas arriba del límite superior del tramo, y con un cronómetro ó un contador de segundos, se anotan el momento en que entra y el en que sale del tramo limitado por las cuerdas, tramo cuya longitud se conoce; así se obtiene la velocidad del flotador por 1", que se puede admitir igual á la velocidad superficial. Repitiendo la operación se obtendrán varios resultados $v_{s_1}, v_{s_2}, v_{s_3}, \ldots v_{s_4}$, y será:

$$v_S = \frac{\sum v_{s_1}}{n}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y el error probable:

$$E = 0{,}67 \frac{\sqrt{\Sigma \left(v_{s_1} - \frac{\Sigma v_{s_1}}{n} \right)^2}}{n\,(n-1)}$$

Si las observaciones se hubiesen hecho en tramos desiguales $l_1, l_2, l_3, \ldots l_n$, se tendrá:

$$v_s = \frac{\Sigma\, l_1 v_{s_1}}{\Sigma\, l},$$

cuyo error probable será:

$$E = 0{,}67 \frac{\sqrt{\Sigma \left[l_1 \left(v_{s_1} - \frac{\Sigma v_{s_1}}{n} \right)^2 \right]}}{(n-1)\,\Sigma\, p}$$

Para medir la velocidad de un filete cualquiera se limita un trozo menor de canal, de 20 ÷ 50 metros, se gradúan las dos cuerdas á partir de la misma orilla y se procede como en el caso anterior, echando el flotador en una posición cualquiera y asignando la velocidad hallada al filete líquido correspondiente á la media de las abscisas leídas al paso del flotador en las dos cuerdas.

151. *Corredera sencilla* (fig. 68).—Está constituída por una tablilla de madera ó placa metálica fija á una cuerda delgada que se arrolla sobre un tambor; la velocidad se deduce por la longitud de cuerda desarrollada dividida por el tiempo empleado.

Este instrumento tiene muchas causas de imperfección y hay que tomarlo por comparación con un flotador. Se emplea en las crecidas de los ríos, echándolo desde un puente.

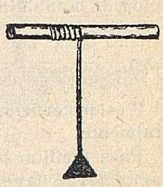


Fig. 68.

II categoría.—Aparatos que miden la velocidad en un filete á cualquier profundidad.

152. *Flotador compuesto* (fig. 69).—Consta de dos esferas huecas: una, lastrada, se coloca á la profundidad x del filete cuya velocidad quiere medirse, y está sostenida por medio de un alambre delgado y resistente de la otra esfera flotante. Siendo d y D los diámetros de las esferas flotante y lastrada y conocidas la veloci-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dad superficial v_0 y la v_c con que se mueve el sistema, se deduce la velocidad buscada v_x con la

$$(58) \qquad v_x = v_0 - \frac{d}{D}(v_0 - v_c).$$

Si d es despreciable respecto á D, se tiene; $v_x = v_c$; si $d = D$ resulta $v_x = 2\,v_c - v_0$.

Este instrumento sirve bien en los grandes ríos, Humpreis y Abbot emplearon uno análogo en sus célebres experimentos en el Mississipí.

153. *Tubo de Pitot. Modificación de Darcy.*— El primero consiste en un tubo encorvado en ángulo recto en la parte inferior. Se sumerge con la abertura inferior vuelta hacia la corriente, y el agua se eleva en el tubo hasta una cierta altura. La velocidad buscada es evidentemente función de la elevación h.

El tubo de Darcy (fig. 70) está constituído por dos tubos montados sobre una tablilla graduada; uno de ellos tiene el extremo vuelto hacia la corriente y recibe los filetes animados de velocidad; el otro tiene el extremo vuelto hacia abajo; en éste la componente de la velocidad es nula y hay una aspiración que produce un descenso del líquido bajo el nivel exterior.

Fig. 69.

Llamando h el desnivel total del agua en los dos tubos, que se mide con un nonius sobre la graduación de la tablilla, la velocidad está dada por la

$$(59) \qquad V = \mu\sqrt{2gh}.$$

μ es un coeficiente que se determina experimentalmente.

Para facilitar la lectura de los tubos fuera del agua llevan llaves que, movidas con cuerdas, pueden detener el agua en los tubos cuando se quiera.

El tubo de Frank, poco usado, no es otra cosa que el anterior en el que los dos tubos están concéntricos y el interior en que el nivel es más bajo contiene un flotador que lleva una varilla graduada, sobre la que se efectúan directamente las lecturas.

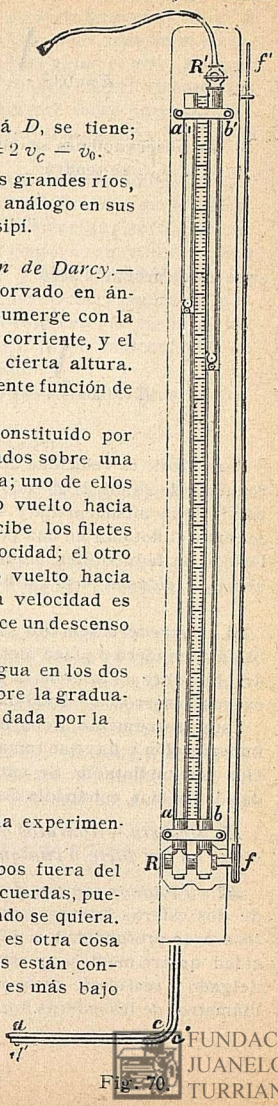


Fig. 70.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Graduación ó tara del tubo de Darcy.—La tara consiste en determinar μ. Se hace actuar el instrumento en un filete cuya velocidad se conoce. Se anotan V y h y se tiene μ de la (**59**). Como μ no es constante con la velocidad, es mejor mover el aparato en un estanque de agua tranquila con distintas velocidades conocidas y anotar las h correspondientes, y así puede construirse el diagrama de *tara*, que da directamente la velocidad correspondiente á cada h.

Para la tara conviene disponer de un canal bastante largo, $50 \div 100$ metros, en el que pueda dejarse el agua tranquila. El instrumento se fija á un carretón que se mueve sobre carriles fijos en las orillas (véase fig. 76). El movimiento uniforme puede obtenerse á brazo ó por un mecanismo.

154. *Molinete de Woltmanu* (fig. 71).—Este instrumento consiste en un molinete que, bajo la acción de la corriente, gira y por medio de un mecanismo especial señala el número de vueltas que da.

Siendo $n = \frac{N}{T}$ el número de vueltas por 1" del molinete, la ecuación que da la velocidad es:

$$V_x = A\,n + B, \tag{60}$$

en que A y B son constantes que se determinan experimentalmente.

B se llama *constante de rozamiento*, porque representa la máxima velocidad que no llega á vencer el rozamiento para mover el molinete, pues si $n = 0$, se tiene $V_x = B$. Para corrientes muy fuertes B es despreciable y resulta

$$V_x = A\,n.$$

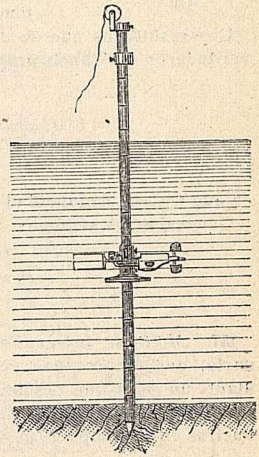


Fig. 71.

Tara del molinete.—Se hace determinando con dos experimentos sobre filetes de velocidad conocida las constantes A y B, ó bien determinando el diagrama de tara de la V en función de n con diversos experimentos, moviendo con velocidades conocidas el molinete en agua tranquila, del mismo modo que se ha dicho para el tubo de Darcy.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

155. *Molinete de Razzaboni.*—Es una aplicación del aneniómetro Robinson, de paletas semiesféricas. Sirve muy bien para grandes velocidades.

III categoria.—Instrumentos que miden la velocidad media sobre una linea.

156. *Varilla reométrica* (fig. 72).—Se usa como los flotadores Consiste en una varilla ó un tubo cerrado inferiormente y lastrado, para que se mantenga recto y apenas sobresalga del agua. Como sufre la impresión de todos los filetes líquidos da directamente la velocidad media, con varios experimentos, como todos los flotadores. Para que sirva mejor, se la puede hacer telescópica, á fin de alargarla lo necesario y que la parte inferior diste poco del fondo.

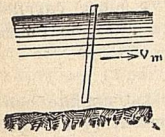


fig. 72

Los resultados que se obtienen son siempre superiores á los verdaderos, y Francis propone la fórmula de corrección:

$$l = 1{,}00 - 0{,}116 \left\{ \sqrt{\frac{P - P_1}{P}} - 0{,}10 \right\}$$

en que P es la profundidad del agua y P_1 la que alcanza la varilla Generalmente se toma

$$P_1 = \left(\frac{8}{9} \div \frac{6}{7} \right) P .$$

157. *Molinete integrador* (figs. 73 y 74).—Es un molinete ordinario, que recorre una vertical con movimiento uniforme, mediante un peso que desciende á lo largo de la varilla de sostén, movido por un regulador de paletas. Siendo N el número total de vueltas en el tiempo T, la velocidad media V_m está dada por

$$V_m = A \frac{N}{T} + B. \qquad (62)$$

El molinete se supone tarado por el método indicado. Las señales pueden hacerse con un aparato telegráfico (fig. 74), que por medio de contactos eléctricos marca sobre una tira de papel, que se arrolla uniformemente, señales que representan las vueltas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dadas y los tiempos correspondientes, como indica el esquema siguiente:

Vueltas.	
10 vueltas	— — —
Segundos.	
10 segundos	— — —

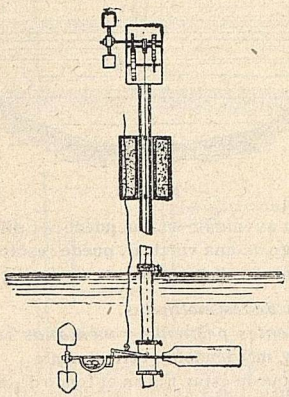


Fig. 73.

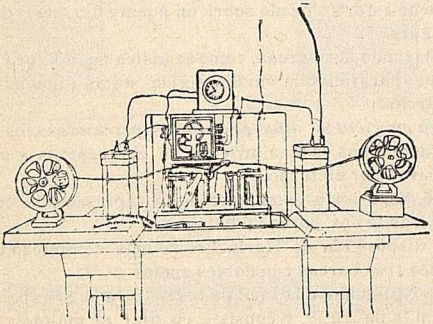


Fig. 74.

158. *Instrumentos integradores á lo largo de una horizontal.*—Si los molinetes descriptos recorren con movimiento unifor-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

me una línea horizontal ú otra línea cualquiera, se tendrá igualmente la velocidad media sobre esa línea.

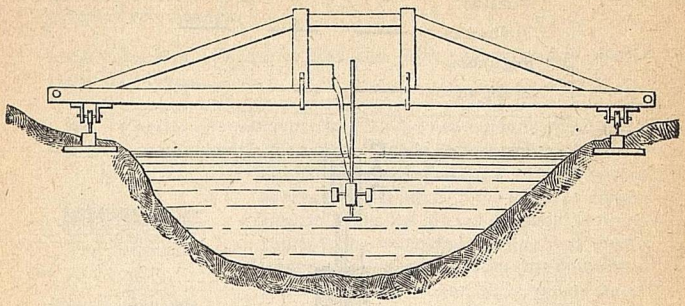


Fig. 75.

Para los ríos en avenidas, en que puede ser difícil mover el instrumento á lo largo de una vertical, puede resultar fácil moverlo en sentido horizontal y deducir de este modo el gasto.

159. *Colocación de los molinetes.*

a) *Para corrientes pequeñas y medianas* se adapta el molinete á una varilla, moviéndolo verticalmente.

1.ª La varilla puede estar fija en el fondo de la corriente (como en la figura 71). Si el molinete es registrador eléctrico, pueden hacerse las observaciones desde la orilla.

2.ª Puede estar colocado sobre un puente fijo ó móvil parecido al de la figura 75.

3.ª Enlazando dos barcas, como se indica en la figura 76, y asegurando el aparato á una varilla rígida sujeta al puente que une las dos barcas.

b) *Para corrientes muy profundas y grandes ríos* se asegura el molinete á una cadena provista de contrapesos y manejable desde la barca por un torno.

4.ª Una disposición semejante es la representada en la figura 77, empleando dos barcas ó balsas.

5.ª La disposición de Harlacher es más complicada (fig. 78), pues emplea tres barcas con dobles anclas.

6.ª La disposición más fácil de todas y la más expedita se representa en la figura 79, y consiste en fijar el molinete á un solo barco.

160. *Escala de velocidades.*—Colocando un instrumento de la segunda categoría en distintos puntos de una vertical ú horizon-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tal, ó usando un molinete de la tercera categoría como integrador, sucesivamente, para los diversos trozos de una línea, y atribuyendo las diversas velocidades medias resultantes al filete me-

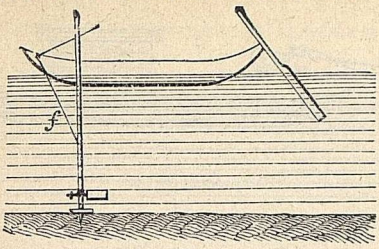
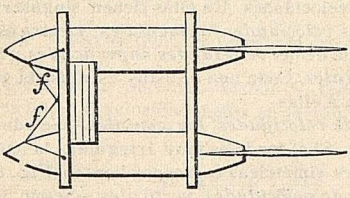


Fig. 76.



dio del trozo considerado, pueden construirse diagramas que tienen por eje de abscisas dichas líneas y por ordenadas las veloci-

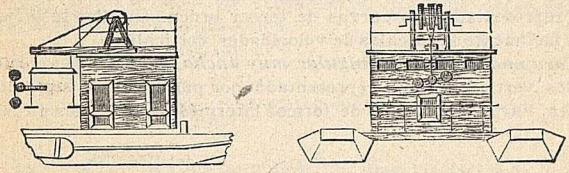


Fig. 77.

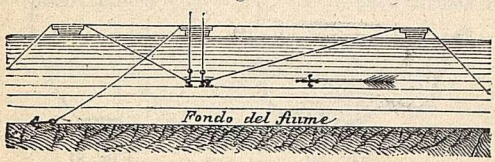


Fig. 78.

dades correspondientes á los diversos puntos y que se llama *escala de velocidades*.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Si para todos los puntos de una sección transversal se elevan normalmente á ella segmentos proporcionales á las velocidades correspondientes, se obtiene un sólido llamado *sólido de las velocidades*.

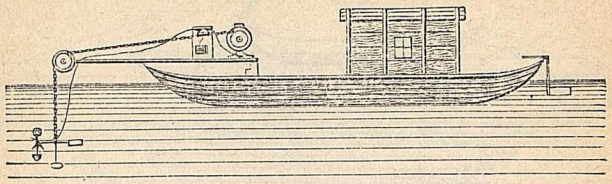


Fig. 79.

Todas las secciones planas de este sólido no son otra cosa que las escalas de velocidades. En ellas tienen singular importancia la escala de las *velocidades horizontales*, y entre éstas, especialmente, la escala de las *velocidades superficiales* y la de las *velocidades verticales*. Cada una de estas escalas da una velocidad media relativa á ellas.

a) *Escala de velocidades horizontales.*—Se admite tiene forma parabólica. Si el fondo es muy irregular, la curva presenta irregularidades simétricas correspondientes (Fig. 80).

b) *Escala de velocidades verticales.*—Según los resultados teóricos de Boussinesq y experimentales de Bazin, la escala de velocidades radiales en una *sección circular* ó *semicircular*, están representadas por curvas de tercer orden. De ellas se deducen fácilmente las escalas de velocidades verticales.

Para una sección rectangular muy ancha, la escala de velocidades verticales está representada por parábolas de segundo orden. Para las secciones de formas intermedias, se suponen cur-

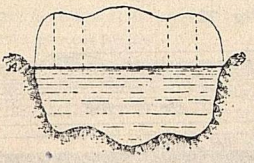


Fig. 80.

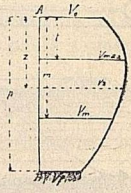


Fig. 81.

vas intermedias; para *secciones trapeciales*, se supone una parábola de segundo orden y eje horizontal (fig. 81). La profundidad *t*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

del vértice ó punto de máxima velocidad varía entre 0 y $\frac{1}{3}$ de la altura p de la vertical.

Cuando las pendientes son muy fuertes, la escala de velocidades es una recta.

Velocidad media sobre una vertical.—Siendo V_0 la velocidad superficial y V_m la velocidad media sobre una vertical, se admite como término medio:

$$\frac{V_m}{V_0} = 0{,}80 \text{ para } V_0 = 0{,}70 \div 1{,}20.$$

$$\frac{V_m}{V_0} = 0{,}90 \text{ para } V_0 = 1{,}20 \div 3{,}00.$$

La profundidad á que se tiene la velocidad máxima, V_m, se supone es $\sim = 0{,}62\,p$.

Velocidad media en la sección.—Siendo V_0 *máx.*, velocidad máxima superficial, y U velocidad media en la sección, Bazin da la fórmula:

$$\frac{V_0 \text{ máx.}}{U} = 1 + 14\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R_m}}$$

α y β son coeficientes que dependen del grado de aspereza, y R_m el radio medio de la sección.

Aproximadamente se supone

$$\frac{U}{V_0 \text{ máx.}} = 0{,}80 \div 1{,}00.$$

Isótacas (fig. 82).—Son las curvas que unen los puntos de igual velocidad en la sección transversal. Sirven para dar una idea de

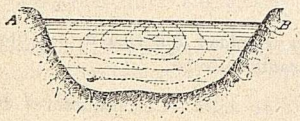


Fig. 82.

la distribución de las velocidades en la sección misma, y no son otra cosa que las secciones del sólido de las velocidades paralelas al plano de la sección transversal del curso de agua.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

c) *Instrumentos de medida para los tubos á presión.*

161. *Tubo de Pitot, modificado por Darcy.*—Es el mismo descrito en el núm. 153; se aplica por medio de collares que ajusten perfectamente en el interior del tubo. La lectura se hace generalmente en dos tubos exteriores de cristal y en comunicación con los tubos del aparato, comprimiendo en el interior el aire para que descienda el nivel del agua.

Si la presión es muy fuerte, conviene referir los tubos, para la lectura, á lo alto de una torre, para anular, ó, por lo menos, disminuir la presión misma.

162. *Escala de velocidades radiales en los tubos á presión.*—El aparato descripto antes sirve bastante bien para la determinación de las presiones radiales. Respecto á esto han hecho estudios Bazin, Darcy, Boussinesq y muy recientemente Torricelli en la cañería de llegada del acueducto de Parma. Las fórmulas más usadas son las de Bazin:

$$\frac{U\ máx. - U}{\sqrt{R_m\ i}} = 21\left(\frac{r}{R}\right)^3$$

Boussinesq:

$$\frac{U\ máx. - U}{\sqrt{R_m\ i}} = 22{,}91\ \left(\frac{r}{R}\right)^3 + 34{,}37\ \Phi\left(\frac{r}{R}\right)$$

con

$$\Phi\left(\frac{r}{R}\right) = 0{,}576\left(\frac{r}{R}\right)^2 - 1{,}421\left(\frac{r}{R}\right)^3 + 3{,}372\left(\frac{r}{R}\right)^4 - \\ - 6{,}085\left(\frac{r}{R}\right)^5 + 3{,}579\left(\frac{r}{R}\right)^6$$

en los que U es la velocidad genérica de los filetes en el círculo de radio r y R el radio del tubo.

163. *Contadores de agua.*—Los contadores de agua para las cañerías de distribución urbana se dividen en dos grandes clases: Primera: *contadores de émbolo*, llamados también *positivos*. Segunda: *contadores de rueda ó turbina*, llamados *diferenciales*.

Los positivos miden la cantidad de agua introducida efectivamente en uno ó más recipientes de una capacidad dada. Los dife-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

renciales, como los molinetes, miden el número de revoluciones en una turbina.

Los primeros son, en general, preferibles por su mayor sensibilidad para gastos muy pequeños y estar menos expuestos á los deterioros dependientes de organismos delicados.

En la parte referente á acueductos se describen algunos tipos.

Contador Venturi.—El contador Venturi (patente Herschell) se usa para mediciones en tuberías de gran diámetro, como las primarias de una distribución de aguas potables. Se usa también á presión natural ó forzada para servicios de alcantarillado, en filtraciones y servicios hidráulicos mineros (fig. 83).

Está constituído por una parte de la tubería, que en un trozo toma la forma de dos conos dispuestos en sentido contrario, de modo que su unión forme una gola ó estrechamiento.

La diferencia de presión medida con dos piezómetros á la entrada y en el estrechamiento se llama *característica Venturi*.

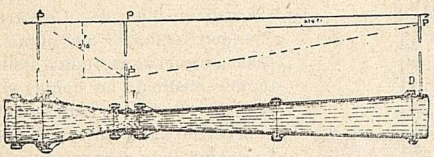


Fig. 83.

La diferencia de presión entre el punto de entrada y el de salida es la *caída por rozamiento*. El cono de aguas arriba es más corto que el de aguas abajo, y la relación entre el área del estrechamiento y la cañería se dispone para variar el registro; generalmente esa relación es de 1 á $4 \div 5$.

El gasto de la tubería se determina mediante la tara del instrumento en función de las características indicadas. Un indicador y registrador automático señala el diagrama de los gastos con el tiempo y gasto total pasado por el tubo.

El registro puede transmitirse eléctricamente á distancia.

164. *Determinación del gasto en los cursos de agua.*

Método directo.—Consiste en recibir el agua en un recipiente de capacidad C y determinar el tiempo T en que se llena. Se tendrá $Q = \frac{C}{T}$.

Se usa en los manantiales y corrientes de gasto muy pequeño (hasta 10 litros por 1").

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Método indirecto.—a) Para gastos de $10 \div 500$ litros pueden usarse orificios con carga ó vertederos establecidos en la misma corriente. Se mide la sección transversal del orificio y se determina la velocidad media usando las fórmulas y coeficientes correspondientes. (Véase Foronomía.)

b) Para gastos superiores á 500 litros se determina empleando la fórmula del movimiento uniforme $Q = \omega\, \gamma \sqrt{R_m\, i}$ y tomando el coeficiente correspondiente al caso que se considere. La sección mojada ω y el radio medio R_m se determinan fácilmente; pero la pendiente i es de dificilísima determinación. Para obtenerla se mide la diferencia de nivel entre los niveles del agua de dos secciones cuya distancia se conoce, empleando el aparato de Urlach (fig. 84), que consta de una varilla vertical graduada que desliza por un anillo que se sujeta sucesivamente á dos piquetes colocados en la orilla, correspondiendo á cada una de las secciones extremas que limitan el trozo considerado. La varilla lleva en la parte inferior una punta que, enrasada con el agua, indica el nivel exacto; por medio de un nonius se aprecia el desnivel entre la cabeza del anillo y el nivel del agua en las dos secciones. Las cotas de la cabeza del anillo en las dos posiciones se hallan con un nivel de precisión.

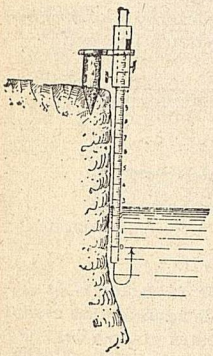


Fig. 84.

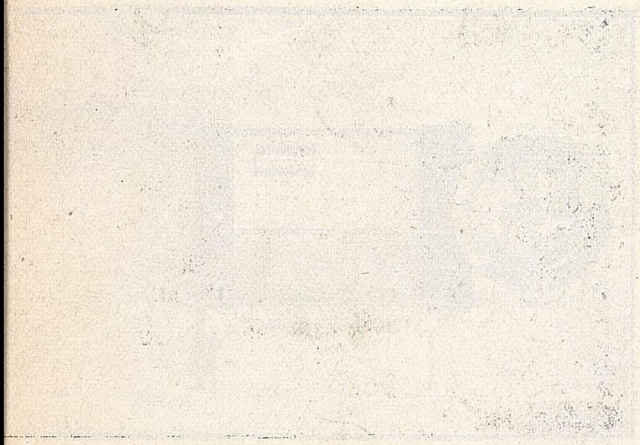
Para eliminar las oscilaciones de las corrientes se enrasa el instrumento en un pocillo lateral practicado en la orilla y en comunicación con la corriente. Con este método se llega á una aproximación suficiente en la determinación del gasto. Para una exactitud mayor se usan los taquímetros.

c) Usando los taquímetros de la segunda categoría se divide la sección en elementos pequeños, con dos sistemas de rectas ortogonales, y se halla la velocidad en el centro de gravedad de cada uno; después se suman los productos de las velocidades por las áreas de los elementos de la sección (fig. 85).

d) Si se emplea un taquímetro de la tercera categoría, se divide la sección en fajas verticales y se mide la velocidad media de la vertical *mediana* de cada una, sumando luego los productos de esas velocidades por las áreas de las fajas correspondientes.

Gráficamente, teniendo el perfil del cauce con las profundidades p y el diagrama de las velocidades medias V_m en las verti-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

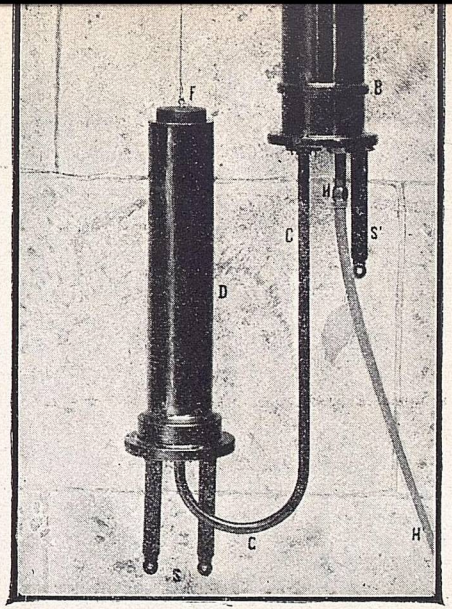


Fig. 87.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

cales, se construye la curva de las $p\ V_m$ (llamada también curva de Harlacher). La integral gráfica $\int p\ V_m$ de esta curva representa el gasto total de la sección. (Véase fig. 86.)

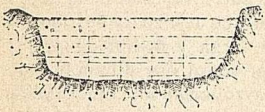


Fig. 85.

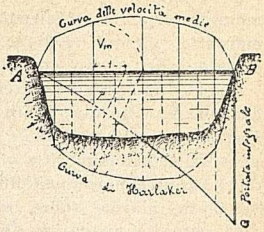


Fig. 86.

164 ***bis.*** *Mareógrafo Mier* (1).—Es un aparato *registrador mecánico* de alturas del nivel del agua; es utilísima su aplicación en los estudios hidráulicos.

Consta de dos cubetas ó depósitos *B* y *D* de hierro fundido (figura 87), colocadas sobre dos soportes *S* y *S'*. La base inferior del depósito *B* está atravesada por dos tubos de hierro *C* y *H*. El tubo *C*, que pone en comunicación los dos depósitos *D* y *B*, se eleva un poco sobre el fondo de este último, y el tubo *H* (al que está soldado otro tubo delgado de plomo *H'* que se sumerge en el agua) atraviesa el fondo y llega cerca de la base superior *B* para evitar que el mercurio caiga en el agua.

En la base inferior está atornillada fuertemente una pieza *A*, que sirve para cargar el aparato y dar á conocer la entrada de cualquier cantidad de aire. Esta pieza *A* se compone de un tubo de vidrio fijo entre dos discos metálicos por medio de cuatro pernos; en la parte superior hay una llave ó cierre hermético *E* y un tubo adicional *G;* este tubo se une al de una bomba de mano pequeña que sirve para hacer el vacío; el mercurio pasa del depósito *D* al *B;* el agua sube por el tubo *H' H*, y cuando este líquido, después de haber llenado la parte superior del depósito *B* y la pieza *A* sale por *G*, se cierra la llave *E* y queda preparado el aparato para funcionar.

El orificio de comunicación entre *A* y *B*, por su diámetro relativamente grande y por su posición, hace que todo el aire que pue-

(1) Para el estudio completo y teoría del mareógrafo ideado y construído por el eminente ingeniero D. Eduardo Mier, véase la revista de la Real Academia de Ciencias y el folleto *Marographe Mier,* publicado por la Dirección del Instituto Geográfico.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

da penetrar en el interior (por cualquier defecto de construcción) pase en seguida al tubo de cristal A, evitando curvas falsas en las indicaciones del aparato.

El flotador F se mueve en el interior del depósito D con movimientos verticales, siguiendo las oscilaciones de las mareas del mercurio contenido en dicho depósito D; estas mareas son proporcionales y del mismo sentido que las del agua.

Los movimientos del mercurio se registran por medio de un mecanismo sencillo que aparece en la parte superior de la figura. Hay dos guías verticales $l\ l'$, entre las que desliza un bastidor m, provisto de una manecilla n metálica, larga y flexible, guarnecida en el extremo con una pluma registradora que dibuja las curvas de las mareas sobre un papel arrollado á un cilindro p que gira merced á un aparato de relojería.

El bastidor m es atraído hacia abajo por el flotador F, con el cual está unido por medio de un cordón, y es atraído en sentido contrario por otro cordón que pasa por la polea s.

Algunos mareógrafos de este sistema tienen un limbo metálico $q\ q$, en el que una aguja r sigue el movimiento del eje de la polea; s señala, sucesivamente, las alturas correspondientes de las aguas. Esta disposición no es indispensable, y puede sustituirse por una regla graduada, vertical, en la que marque las alturas la misma manecilla n, ó un índice fijo al bastidor.

La instalación de este notable aparato es sumamente sencilla; á cada uno se acompañan las instrucciones necesarias.

La figura 88 representa uno de los trazados de alturas de mareas, registrados gráficamente por el mareógrafo de este sistema instalado en Cádiz.

165. *Perfil de la sección.*—Conviene elegir un tramo de río lo más regular posible, tanto planimétrica como altimétricamente.

Cuando se quiere obtener la sección de un río, es indispensable hacer sondeos á diversas distancias de la orilla, y pueden seguirse varios métodos:

1.° Mediante un cable, en el que se han señalado las distancias á la orilla; una vez bien tirante el cable, con un barco se hace el sondeo en los puntos señalados sobre aquél.

2.° Con una estadia se mide la distancia de cada punto á la orilla.

3.° Mientras se hace el sondeo en una barca por cualquiera de los métodos anteriores, un operador determina desde la orilla el punto por cualquiera de los medios siguientes:

a) (Figura 89). Se traza $C\ E \perp$ á $A\ C$. Se toma $C\ D = D\ E$ y se tendrá $A\ C = C\ F$ y $A\ B = A\ C - B\ C$. En este caso, como en el siguiente, basta una escuadra.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Mareografo sistema Mier Instalado en la cacta

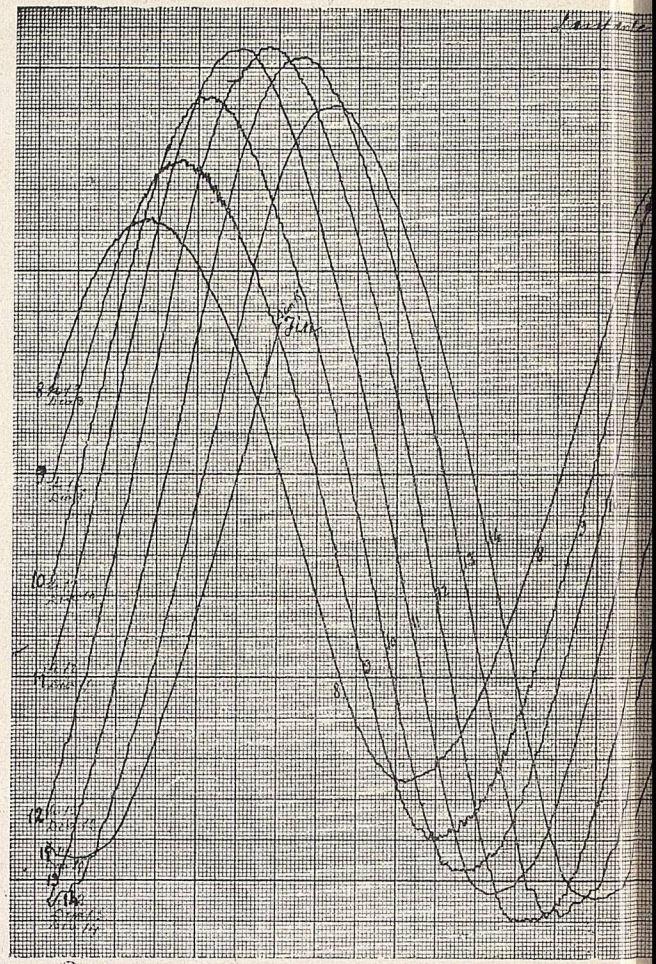
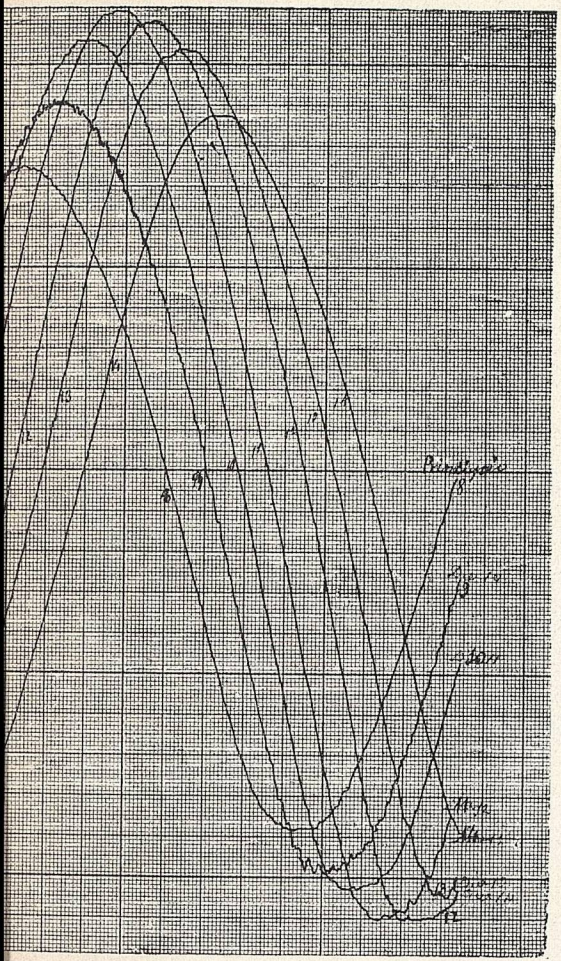


Fig. 8

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de pasageros del Norueste de Santander.



FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

b) (Figura 90). Se construye el triángulo $A\,D\,E$, rectángulo en D, y se traza $C\,D \perp$ á $A\,E$, y tendremos:

$$A\,C = \frac{\overline{D\,C}^2}{C\,E}$$

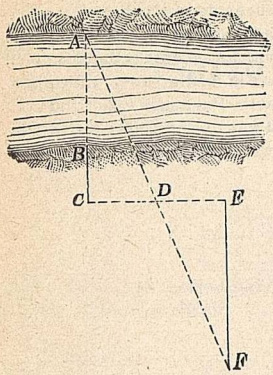


Fig. 89.

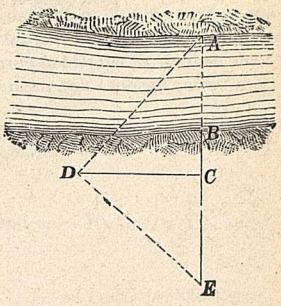


Fig. 90.

c) (Figura 91). *Usando un goniómetro* se puede construir un triángulo $A\,D\,C$, rectángulo en D, y medir el ángulo $A\,C\,D = \alpha$, y se tendrá $A\,D = D\,C \text{ tang } \alpha$.

Usando sólo jalones, banderolas y cintas (fig. 92).—Si sólo se

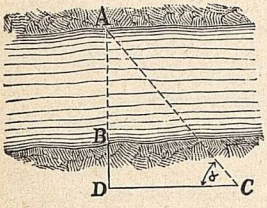


Fig. 91.

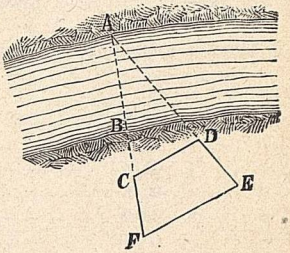


Fig. 92.

dispusiese de banderolas ó jalones y cintas, se pueden trazar dos líneas cualquiera $A\,F$ y $A\,E$ y cortadas por otras dos paralelas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CD y EF, se tendrá:

$$AC = \frac{CD \cdot CF}{EF - CD}.$$

Para trazar las dos rectas paralelas sin instrumentos basta aplicar las leyes de las formas armónicas de la Geometría.

Cuando se quiere determinar el gasto de un curso de agua de sección irregular, se deben obtener varias secciones del tramo en que se ha medido la velocidad y hallar la media, que, multiplicado por la velocidad media, dará el gasto. Para más exactitud conviene deducir la velocidad entre cada par de secciones sucesivas, para hallar después una media integral entre términos finitos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Parte tercera

§ 1.—**Acueductos.**

166. *Caudal necesario para el consumo.*—El Dr. Parkes aconseja las siguientes cifras:

Usos domésticos	54,50	litros.
Baños generales	18,00	»
Retretes	27,00	»
Pérdidas inevitables	13,50	»
Total	113,00	
Usos municipales	22,50	»
Usos industriales	22,50	»
Total por día y habitante	158,00	»

Nazzani da las siguientes cifras de la Compañía general de aguas de París:

Por cada persona (empadronada)	30,00	litros	al día.
Por cada operario	5,00	»	»
Por cada alumno (militar)	10,00	»	»
Por cada caballo	76,00	»	»
Por cada coche de dos ruedas	40,00	»	»
Por cada coche de cuatro ruedas... { 1.° de lujo	100,00	»	»
Por cada coche de cuatro ruedas... { 2.ª de alquiler	50,00	»	»
Por cada metro cuadrado de calles con arbolado, patios ó jardines	3,00	»	»
Por cada tienda	100,00	»	»
Por cada vaca	75,00	»	»

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Por un caballo de vapor y minuto:

Máquinas de alta presión	0,50 litros.
Máquinas de expansión y condensacion	10,00 »
Máquinas de baja presión	20,00 »

Por metro cuadrado de riego de calle:

De 1 á 2.000 m², por cada m²	3,00 litros.
De 2.000 á 5.000 m², por cada m²	2,00 »
De 5.000 á 10.000 m², por cada m²	1,50 »
De 10.000 en adelante	1,00 »

Además los datos siguientes:

Por water-closset privado, al día	70,00 litros.
Por baños (cada uno)	800,00 »
Por cada urinario público	1.000,00 »
Por cada reloj hidráulico (sistema Perdoni)	500,00 »
Bocas para el servicio de policía	5.000,00 »
Fuentes, de 25,00 á 180,00 litros	
Bocas de incendios, de 10 á 30 litros por 1"	

Como base de estudio para los proyectos de abastecimiento se insertan á continuación las cantidades de agua con que están dotadas algunas poblaciones por día é individuo:

EXTRANJERO

Washington	300	litros.	Leipzig	80	litros.
Nueva York	568	»	Hamburgo	50	»
Chicago	300	»	Roma	900	»
Carcassone	400	»	Nápoles	200	»
Marsella	470	»	Turín	95	»
Besancon	246	»	Génova	120	»
Dijon	240	»	Cuneo	200	»
Burdeos	107	»	Macerata	100	»
Londres	135	»	Caltagirone	34	»
Hamburgo	125	»	Catanzaro	96	»
París	123	»	Nicastro	33	»
Cette	106	»	Pietrapersia	49	»
Bruselas	80	»	Potenza	37	»
Lyon	85	»	Pizzi	23	»
Filadelfia	70	»	Habana	178,00	»
Berlin	54	»	Manchester	84,0	»
Breslau	36	»	Munich	80	»
Tropani	132	»	Detroit	575	»
Viterbo	104	»	Lansana	100	»
Colonia	96	»	Ginebra	74	»

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

EXTRANJERO

Boston	350	litros,	Liverpool	110	litros.
Bon	290	»	Bristol	105	»
Cincinatti	285	»	Constantinopla	20	»
San Luis	275	»	Calcuta	95	»
Limoges	240	»	Río Janeiro	9	»
Glasgow	235	»	Manchester	95	»
Dresde	230	»	Bombay	90	»
Adelaida	230	»	Valparaíso	90	»
Francfort	225	»	Alejandría	85	»
Brookiyn	205	»	Cambridge	80	»
Colonia	200	»	La Haya	75	»
San Petersburgo	150	»	Stockolmo	70	»
Sidney	150	»	El Cairo	50	»
Buenos Aires	120	»	Amsterdam	40	»
Méjico	120	»	Atenas	35	»

ESPAÑA

Alicante	173,00	litros	Jerez de la Frontera	283	litros.
Albacete	»	»	Madridejos, p. d.	30	m^3
Avila	14,00	»	Mérida, por día y habitante	80	litros.
Barcelona	30,00	»	Morella, por día	3 ÷ 20	»
Burgos (para toda la población)	8640	m^3	Rota, por día	75 ÷ 80	»
Cáceres			Castellana, p. d.	285	m^3
Cádiz	27	litros	Alcubilla	337,300	litros.
Ciudad Real	5,7	»	Retamar	40,500	»
Gerona (p. t. l. p.)	10 / 4509	» / m^3	Canal del Lozoya se supone por día y habitante (no hay datos precisos)	50	»
Huelva	100,00	litros	Madrid (por habitante y día)	265	»
Jaén	5,00	»	Murcia (p. t. l. p.), por día	400 / 3,7	m^3 / litros.
Madrid:			Segovia	400	»
Fuente la Reina. por día	580	m^3	Sevilla (p. t. l. p.), por día	4000 / 105	m^3 / litros.
Bajo Abroñigal	1129	»	Soria	9	»
Alto Abroñigal	232	»	Teruel		
Pajaritos	3600	litros	Toledo	40 (?)	»
Conde de Salinas, por día	10	m^3	Valencia	356	»
Butarque	26	»			
Bajo del Retiro	38	»			
Alto del Retiro	247,500	»			
Irún (p. t. l. p) por día	433	m^3			

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Poblaciones de 5.000 á 10.000 habitantes. — Por día y habitante	lits.	Poblaciones de 1.000 á 5.000 habitantes. — Por día y habitante	lits.	Poblaciones de menos de 1.000 habitantes. — Por día y habitante	lits.
Agnone	52	Amantea	40	Correto Laziale	105
Albano Laziale	93	Ariccia	27	S. Angelo Sabino	145
Catelltermini	94	Artona	21	Dozza	23
Cattólica Eraclea	20	Colletorto	50	Massa Martana	29
Civita-Vecchia	130	Palombara-Sabina	94	Permabilli	955
Cori	44	Gratte di Castro	75	Rose	34
Fossombrone	171	Ischia di Castro	19	Rotella	109
Genzano	71	Maida	49	Salisano	274
Sortino	18	Norma	38	Sarnano	448
Tagliacozzo	33	Offida	207	S. Giovanni di Bieda	132
Venosa	49	Olevano Romano	11		
Villarosa	126	Orbetello	14		
		Scurcola	69		
		Sicignano	41		
		S. Biagio Platani	31		
		S. Vito Romano	16		
		Tocco Casauria	135		
		Tolfa	41		
		Treia	187		

En general, el consumo por día y habitante varía mucho. Depende de la naturaleza de la población; de la importancia del centro, de la facilidad de la conducción, de la tarifa, del sistema de distribución y, sobre todo, del tiempo que está en ejercicio el acueducto.

Como término medio varía de 50 ÷ 100 por habitante y día.

167. *Variación del consumo con el tiempo.—Consumo diario.* No es uniforme en las veinticuatro horas y puede suponérsele distribuído como sigue:

a) *Servicio doméstico.*—Se efectúa en unas 7 horas: de 7 á 11 y de las 16 á las 19.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

b) *Servicio de limpieza de las caltes.*—Dura ordinariamente 4 horas: 2 por la mañana y 2 por la tarde.

c) Las fuentes públicas funcionan cerca de 8 horas.

d) El consumo en la industria se reparte generalmente en la jornada legal de 10 horas.

Llamando Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 los gastos diarios correspondientes á los cuatro casos considerados, el gasto máximo por 1' será:

$$q = \frac{Q_1}{3600 \times 7} + \frac{Q_2}{3600 \times 4} + \frac{Q_3}{3600 \times 8} + \frac{Q_4}{3600 \times 10} .$$

En general se admite que el consumo máximo diario es 1,50÷1,80 veces el medio diario.

Variaciones diurnas y anuales en el consumo.—Se representan por diagramas sacados de los acueductos en explotación y dan indicaciones prácticas atendibles en casos análogos.

Se admite también que el gasto máximo anual es 1,50 el gasto medio anual.

Los depósitos de compensación sirven para equilibrar todas las variaciones del gasto.

En los proyectos de acueductos es muy conveniente calcular todas las obras de derivación y la distribución total de la población para un gasto amplio, suficiente á las necesidades de la misma, teniendo en cuenta el aumento probable de población y las futuras necesidades industriales, y calcular la cañería de conducción del manantial al punto de distribución (sobre todo si el recorrido es muy largo) para un gasto mitad ó muy inferior al máximo, reservando el establecer otra cañería 20 ÷ 40 años después, cuando las necesidades lo requieran. El interés del capital que se economiza en esa primera instalación compensa holgadamente el coste del establecimiento de la segunda cañería después, con la ventaja grandísima de la doble tubería.

168. *Toma de muestras.*—Para el estudio físico y químico hay que conservar el agua en frascos de tapón esmerilado, bien limpios y previamente lavados con el agua que se ha de analizar. Si el agua es turbia, antes del análisis, se toma un volumen determinado, que se filtra en un filtro tarado y seco. El agua filtrada sirve para el análisis y las substancias que han quedado en el filtro se secan con éste en una estufa á 100º y se pesan.

Al tomar del manantial la muestra que ha de analizarse, deben además anotarse las siguientes observaciones:

1.ª Nombre del manantial y localidad.

2.ª Fecha en que se recoge la muestra.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

3.ª Naturaleza del terreno ó de las rocas y estratificación.
4.ª Temperatura del aire.
5.ª Temperatura del agua.
6.ª Caracteres organolépticos.
7.ª Reacción con el papel de tornasol.
8.ª Presión barométrica ó altitud.
9.ª Exposición de la vertiente.
10. Naturaleza de los cultivos próximos.
11. Profundidad del nivel del agua.
12. Proximidad de minas y su altitud respecto al agua.
13. Gasto ó caudal.
14. Datos de las últimas lluvias caídas.
15. Distancia á los estercoleros, vertederos, colectores etcétera, más próximos, y su altitud.

Para el examen bacteriológico hay que proveerse de recipientes esterilizados y recoger el agua con instrumentos á propósito (también esterilizados). Los especialistas sostienen que este examen y los cultivos necesarios deben hacerse en el lugar.

Caracteres organolépticos.—El agua potable ha de ser perfectamente incolora, límpida, inodora, insípida y agradable al paladar; la temperatura no ha de ser superior á 18° y conviene sea menor de 15°.

169. *Análisis químico del agua.*—Raras veces es necesario el análisis químico completo de un agua. Para los ensayos de potabilidad es suficiente un análisis que comprenda:

1.° La determinación del residuo fijo.
2.° Ensayo hidrotimétrico.
3.° Dosificación del cloro.
4.° Idem del anhídrido sulfuroso.
5.° Investigación de los nitratos, nitritos y amoníaco.
6.° Dosificación de las substancias orgánicas.

1.° *Determinación del residuo fijo.*—En una cápsula de porcelana ó platino se evapora á baño maría un litro de agua previamente pesada. El residuo de la evaporación se seca en una estufa á 110°, hasta obtener un peso constante (3 ÷ 4 horas); este peso, menos el de la cápsula, da el residuo fijo á 110°.

2.° *Ensayo hidrotimétrico.*—Sirve para determinar la *dureza* de un agua, expresando esta dureza la cantidad de sales alcalinotérreas (sales de calcio y magnesio) contenidas en el agua.

Dureza total, la de un agua que no se ha calentado.

Dureza permanente, la que ofrece después de la ebullición.

Dureza temporal, la diferencia entre las dos anteriores.

El hidrotímetro de Boutron y Boudet es un instrumento práctí-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

co y fácil para dar pronto una idea de las cantidades de sales de cal y magnesia contenidas en un agua. Consta de un frasco graduado hasta 40 c. c. y una bureta, cuya graduación representa grados hidrotimétricos. En un recipiente separado se tiene una solución alcohólica de jabón al 70 por 100.

Para medir el grado de pureza de un agua se vierten 40 c. c. de ella en el frasco y después se llena la bureta del *licor hidrotimétrico* y se empieza á verter el licor en los 40 c. c. de agua en cortas cantidades y agitando cada vez el frasco, hasta que se obtenga una espuma persistente (bastan unos cinco minutos). Entonces se lee en la bureta cuántos grados de licor se han empleado para producir la espuma, y éste será el grado hidrotimétrico del agua. Los hidrotímetros más corrientes llevan la graduación francesa. Seligmann ha propuesto la escala siguiente:

De 0 á 30 grados hidrotimétricos. = aguas buenas.
» 30 á 60 » » = » tolerables.
» 60 en adelante..... = deben proscribirse.

La bureta graduada lleva sobre el cero un grado, que indica la cantidad de licor con que se produce espuma en el agua destilada.

Además de la francesa hay otras graduaciones, que son la inglesa y la alemana, que guardan las siguientes relaciones:

Grados franceses.	Grados ingleses.	Grados alemanes.
1	0,70	0,56

3.° *Dosificación del cloro.*—El cloro se encuentra en las aguas al estado de cloruro; su determinación se hace por la transformación en cloruro insoluble de una solución decinormal de nitrato argéntico (17 gr. por litro) que se vierte sobre un volumen determinado del agua que se ensaya, previamente coloreado con unas gotas de solución al 10 por 100 de bicromato potásico. Cuando el líquido toma una coloración permanente roja (debida á que empieza á formarse cromato argéntico), todo el cloro está precipitado al estado de cloruro de plata. El volumen en cm^3 de solución de nitrato argéntico empleado sirve para dosificar el cloro, sabiendo que 1 cm^3 de la solución precipita 0,00355 gr. de cloro.

4.° *Dosificación del anhídrido sulfúrico.*—Se acetifican 100 cm^3 de agua con unas gotas de ácido clorhídrico y se tratan con una solución de nitrato de bario, y el anhídrido sulfúrico precipita en estado de sulfato bárico. Una parte de sulfato bárico corresponde á 0,3433 partes de anhídrido sulfúrico.

5.° *Investigación de los nitratos, nitritos y amoniaco.*

a) *Nitratos.*—Se evapora á sequedad un litro de agua: se aña-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de al residuo un cristal de sulfato ferroso y 1 cm³ de ácido sulfúrico puro. Si hay nitratos en cantidad apreciable, aparece una coloración parda. También la *difenilamina* en ácido sulfúrico (1 : 100) da con los nitratos una coloración azul.

b) *Nitritos.*—A 10 cm³ de agua se agregan tres gotas de ácido sulfanílico, una gota de ácido clorhídrico (reactivo de Griess), después tres gotas de clorhidrato de naftilamina. Si hay nitritos, resulta una coloración rosácea.

c) *Amoníaco.*—A 100 cm³ de agua se añaden $\frac{1}{2}$ cm³ de sosa cáustica al 50 por 100 y 1 cm³ de solución concentrada de carbonato sódico. Se deja reposar el precipitado, se decanta el líquido claro y se vierten 2 cm³ de solución alcalina de ioduro mercúrico-potásico (reactivo de Nessler). Un precipitado amarillo rojizo indicará si el agua contiene amoníaco.

6.° *Dosificación de las substancias orgánicas.*—Se funda en las propiedades oxidantes del permanganato potásico sobre ellas. Se hierven durante diez minutos 100 cm³ del agua que se ensaya con $\frac{1}{2}$ cm³ de solución concentrada de sosa cáustica y 10 cm³ de solución titulada de permanganato potásico (0,32 gr. por 1 litro). Se deja enfriar á 50° y se añaden 5 cm³ de ácido sulfúrico diluído y 10 cm³ de ácido oxálico centinormal (0,63 gr. por litro). Cuando el líquido se vuelve incoloro, se vierte, á gotas, con una bureta graduada, la solución titulada de permanganato potásico, hasta obtenar una coloración roja permanente. Sabiendo que 1 cm³ de permanganato corresponde á 0,00063 gr. de ácido oxálico, se tiene la cantidad de materias orgánicas expresadas en ácido oxálico.

Estas materias orgánicas también se expresan en cantidad de oxígeno necesario para oxidarlas, sabiendo que cada cm³ de solución de permanganato contiene 0,00008 gr. de oxígeno disponible para tal oxidación.

Límites admitidos generalmente para las aguas potables.

1.°	Residuo fijo.....	0,50	gr. por litro.
2.°	Grado hidrotimétrico.....	30°	franceses.
3.°	Cloro	0,015	gr. por litro.
4.°	Anhídrido sulfúrico.....	0,06	»
5.°	Nitratos, nitritos y amoníaco..	Indicios.	
6.°	Substancias orgánicas (en oxígeno consumido).....	0,002	gr. por litro.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Límite máximo de la cantidad de sales, según Alessandri.

Carbonato cálcico	0,250	gramos por mil.
» magnésico	0,045	»
Sulfato cálcico	0,050	»
» magnésico	0,010	»
» sódico	0,010	»
Cloruro cálcico	0,010	»
» magnésico	0,010	»
» sódico	0,050	»
Carbonatos alcalinos	0,020	»
Oxidos de hierro y manganeso	Indicios.	
Nitratos	0,010	gramos por mil.
Nitritos	Indicios.	
Amoníaco y sales amónicas	»	
Límite del residuo seco á 100º	0,50	gramos por mil.
Substancias orgánicas	0,05	»

Límite mínimo de las substancias gaseosas.

Total: 18 c. c.	Acido carbónico	c. c.	2
	Oxígeno	»	6
	Nitrógeno	»	16

170. *Análisis bacteriológico.*

Examen microscópico.—El agua contiene muchísimos microorganismos ó seres de dimensiones tan pequeñas que sólo son visibles con el auxilio de microscopios de gran potencia. De estos cuerpos unos son vegetales, otros animales; parte inofensivos, otros patógenos ó capaces de producir enfermedades graves, como el tifus, cólera, etc. Algunos de estos seres indican, pues, la bondad del agua ó su mala calidad.

Proust recurrió á los moluscos, que no pueden vivir en aguas completamente corrompidas, y partiendo de esta base, dedujo la siguiente escala:

ESPECIE DE MOLUSCOS	CLASE DEL AGUA
Physa fontinalis	Aguas sanísimas.
Valvata piscinalis	» sanas.
Limnea ovata Limnea stagnalis Planorbis marginatus	» comunes.
Cyclas cornea Bytinia impura Planorbis corneus	» medianas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para el examen microscópico de las aguas se necesitan estudios especiales y vastos, siendo imposible dar reglas prácticas suficientes para juzgar un agua bajo este aspecto. Sólo se indicará el valor higiénico de algunos de los microorganismos que con más frecuencia se encuentran.

Entre los vegetales, las algas son las más numerosas, y de ellas las verdes pueden considerarse como inofensivas, mientras que, higiénicamente consideradas, son perjudiciales las azules de cualquier forma.

Las plantas acuáticas son ventajosas en general, pero nocivas cuando mueren y se descomponen.

Entre los animales hay que distinguir los de orden inferior, que son verdaderos animales, y los *protistas* ú organismos celulares.

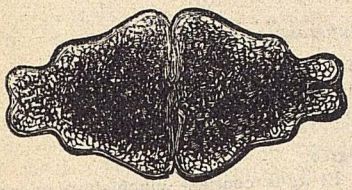


Fig. 92 *a*.

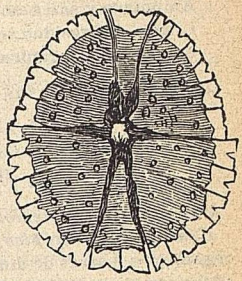


Fig. 93.

Entre los animales son frecuentes la *Daphnia pulex* (fig. 92 *a*), clase de los braquiópodos, orden de los crustáceos, y el ciclopo *cuadricornio* (Cyclops quadricornis) (fig 93). Ambos seres son característicos de las aguas impuras, palúdicas y de los ríos. Los primeros son á veces tan numerosos, que dan al agua un color rojo propio que muchas veces ha sido objeto de supersticiones.

Los protistas (seres primitivos) deben distinguirse por su valor higiénico. Entre los *unicelulares*, sólo las *diatomáceas* (fig. 101) pueden decirse inofensivas; casi todos las demás, como la *Actinosphaerium Eichornii* (fig. 94), el *Actinopleriis sol* (fig. 95); los *libori* (fig. 97), los *flaqueados* (fig. 96) los *moneras* (fig. 98) (Protisti citodulari) son siempre indicio de aguas corrompidas, á veces de una putrefacción incipiente *(Spataro)*.

171. *Corrección de las aguas potables.*—Cuando un agua contiene una cantidad excesiva de un elemento dado, el mejor modo y casi único de corregirla es mezclarla con otra agua que tenga deficiencia de aquel elemento, y en proporción tal que la mezcla

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

resulte con una dosis tolerable. Esta práctica puede ocasionar importantes economías en la construcción de acueductos cuando hay próximos varios manantiales, derivando sólo parte de aquellos más lejanos y de aguas más puras.

172. *Temperatura.*—Una de las principales condiciones de potabilidad en un agua es la *frescura;* las aguas destinadas á la be-

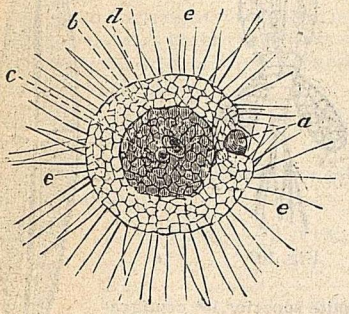


Fig. 94.

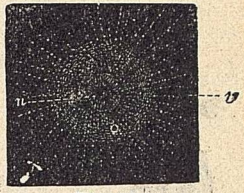


Fig. 95.

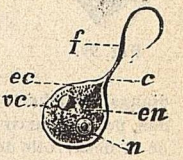


Fig. 96.

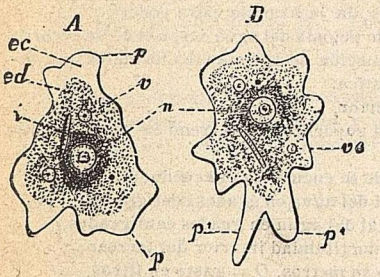


Fig. 97.

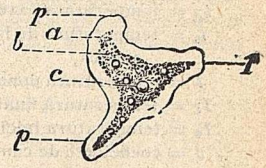


Fig. 98.

bida no sirven cuando su temperatura excede de 18° centígrados.

Para los riegos, al contrario, es tanto más útil cuanto más elevada su temperatura, pues las aguas frías perjudican á la vegetación.

Según V. Rubel *(Arbeitung zur Untersuchung von Wasser)* y

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

según el anuario de las aguas en Francia, la temperatura del agua potable debe variar de 8 á 15º centígrados; esta es la temperatura de las aguas buenas; como á veces hay que utilizar las me-

Fig. 99.

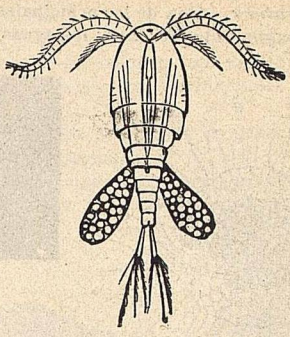


Fig. 100.

Fig. 101.

dianas, se admite como límite superior 18º centígrados, pues, á partir de esto, produce náuseas y favorece el desarrollo de microorganismos patógenos peligrosos.

Fórmulas de Alibrandi.—El ingeniero P. Alibrandi, en un reciente estudio, da la fórmula para poder calcular la temperatura de llegada del agua después de un recorrido determinado. A continuación se insertan las fórmulas que deben emplearse en la práctica:

t_e = temperatura exterior,
t_0 = temperatura de la superficie del terreno en grados centígrados,
t = temperatura donde se encuentra el acueducto,
T_1 = temperatura final del agua en grados centígrados,
T_0 = temperatura inicial del agua en grados centígrados,
c = coeficiente de conductibilidad interior del terreno,
L = longitud del trozo en metros, Q = gasto en litros,
h = profundidad del eje del tubo, r = radio del tubo,
$C\,m$ = coeficiente de conductibilidad de la fábrica ó del material de que están hechos el tubo y la galería,
C_1 = coeficiente de conductibilidad exterior entre el material del tubo y la atmósfera, P_1 = perímetro exterior,
s = espesor de la fábrica ó del material de que está hecho el tubo,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

P = perímetro mojado (grados centígrados),

S = perímetro medio de la fábrica, ó sea media de los perímetros interior y exterior de la fábrica, así como de la parte de fábrica que se halla por debajo del nivel superior del agua, suponiendo prolongado este nivel cortando las paredes del tubo, etc.;

a = ancho de la superficie del agua,

K_a = coeficiente de conductibilidad exterior del agua al aire.

La exactitud de estas fórmulas se ha comprobado con cuidadosas observaciones hechas en acueductos existentes.

a) *Para un tubo metálico expuesto al aire libre* á la temperatura t, se tiene:

$$\log_e (t_e - T_1) = \log_e (t_e - T_0) - 0{,}01922 \frac{r L}{Q}. \tag{63}$$

b) *Para un tubo de sección cualquiera no metálico* expuesto á la atmósfera:

$$\log_e (t_e - T_1) = \log_e (t_e - T_0) - \frac{L}{Q\left(\frac{1}{4 C m} \log_e \frac{S_0 + 4 s}{S_0} + \frac{1}{C_1 S_1}\right)}.$$

c) *Tubo metálico enterrado de sección circular*, se tiene:

$$\log_e (t_0 - T_1) = \log_e (t_0 - T_0) - \frac{2 \pi c L}{Q \cos^{-1} \frac{h}{r}}.$$

d) *Tubo compuesto de varios trozos*, en los que varía el diámetro, la longitud, la profundidad y naturaleza del terreno y el gasto, suponiendo siempre el tubo metálico de sección circular enterrado:

$$\log_e (t_0 - T_1) = \log_e (t_0 - T_0) - 2 \pi \Sigma \frac{c L}{Q \cos^{-1} \frac{h}{r}}. \tag{64}$$

e) *Para un tubo no metálico*, enterrado, será:

$$\log_e (t_0 - T_1) = \log_e (t_0 - T_0) - \frac{2 \pi L}{P \left\{\frac{1}{C m} \left[\log_e (r + s) - \log_e r\right] + \frac{1}{C} \cos^{-1} \frac{h}{r}\right\}}.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

f) *Para una zanja ó galería pequeña*, construída toda en un terreno á temperatura t, se tiene:

$$\log_e (t - T_1) = \log_e (t - T_0) - \frac{L}{Q} \left\{ \frac{C\ m}{\frac{1}{4} \log_e \frac{S_0 \times 4\ s}{S_0}} + a\ K_a \right\}$$

g) *Para un tubo metálico enterrado* de gasto variable, según la ley lineal $Q = Q_0 - m\ x$, siendo $Q_1 = Q_0 - m\ L$ el gasto final,

$$\log_e (t_0 - T_1) = \log_e (t_0 - T_0) -$$

$$- \frac{1}{m} \frac{2\ \pi\ C}{\cos^{-1} \frac{h}{r}} \left\{ \log_e Q - \log_e Q_1 \right\}$$

Para facilitar los cálculos se inserta á continuación una tabla de los valores de la función hiperbólica $\cos^{-1} \frac{h}{r}$.

Tabla XLIII

$\frac{h}{r}$	$\cos^{-1} \frac{h}{r}$	$\frac{h}{r}$	$\cos^{-1} \frac{h}{r}$	$\frac{h}{r}$	$\cos^{-1} \frac{h}{r}$	$\frac{h}{r}$	$\cos^{-1} \frac{h}{r}$
1,00	0,00	6,00	2,49	28,00	4,03	70,00	4,94
1,10	0,44	6,50	2,57	29,00	4,06	75,00	5,01
1,20	0 62	7,00	2,64	30,00	4,09	80,00	5,08
1,30	0,76	7.50	2,72	31,00	4,12	85,00	5,15
1,40	0.87	8,00	2,79	32,00	4,15	90,00	5,20
1.50	0,96	8.50	2,85	33,00	4,18	95.00	5,25
1,60	1,04	9,00	2,90	34.00	4,21	100	5,30
1,70	1,12	9,50	2,95	35,00	4,24	110	5,40
1,80	1,19	10.00	2,99	36,00	4,27	120	5,48
1,90	1,26	11.00	3,08	37,00	4 30	130	5,56
2,00	1,32	12,00	3,16	38,00	4,33	140	5,63
2,10	1,38	13,00	3,24	39,00	4,36	150	5,70
2,20	1,44	14,00	3,32	40,00	4,38	160	5,75
2,30	1,49	15,00	3,40	41,00	4,41	170	5,83
2,40	1,53	16,00	3,47	42,00	4.44	180	5,89
2,50	1,57	17,00	3,53	43,00	4,46	190	5,94
2,60	1,62	18,00	3,59	44,00	4,48	200	5,99
2,70	1 66	19,00	3,64	45,00	4,50	250	6,21
2,80	1,70	20,00	3,69	46,00	4,53	300	6.40
2,90	1,73	21.00	3,74	47,00	4,55	350	6'55
3,00	1,76	22,00	3,79	48,00	4,57	400	6,68
3.50	1,92	23,00	3,83	49,00	4,59	450	6,80
4,00	2,06	24,00	3,87	50,00	4,61	500	6,91
4,50	2,19	25,00	3,91	55,00	4,71	550	7,00
5,00	2,30	26,00	3,95	60,00	4,79	600	7,09
5,50	2,40	27,00	3,99	65,00	4,87	1000	7,60

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Fácilmente se deduce de la tabla anterior que, cuando $\frac{h}{r}$ es muy grande,

$$\cos^{-1}\frac{h}{r} = \log_e 2\frac{h}{r}.$$

Tabla XLIV.—Coeficiente de conductibilidad exterior para las superficies que están en contacto del aire.

Calidad y forma de las superficies.	Coeficientes.
Tubos de hierro fundido (ú hierro oxidado), horizontales de radio r	$0{,}0015 + \frac{0{,}000011}{r}$
Tubos de cobre en las mismas condiciones	$0{,}0006 + \frac{0{,}000011}{r}$
Superficies cilíndricas de radio r de fábrica ó barnizadas y revestidas de algodón	$0{,}0016 + \frac{0{,}000011}{r}$
Superficies de fábrica, planas y horizontales	0,0016
Superficie de fábrica, vertical, de altura h	$0{,}0015 + \frac{0{,}000177}{\sqrt{h}}$
Superficie horizontal de arena	0,0016
» » de agua	0,0020
» cilíndrica de radio r, horizontal, mojada	$0{,}0020 + \frac{0{,}000011}{r}$

TABLA XLV—Coeficientes de conductibilidad interna.

Número	SUBSTANCIAS	Coeficientes.
1	Arena cuarzosa	0,00008
2	Creta (carbonato de cal) en polvo húmedo	0,00003
3	Creta en polvo, lavada y seca	0,00002
4	» » y prensada	0,00003
5	Arcilla y arena (Anstroem)	0,00034
6	Arcilla húmeda	0,00038
7	Piedra caliza de peso específico 2,34	0,00058
8	» » » 2,17	0,00047
9	» liásica de construcción	0,00037
10	Terracota ($d = 1{,}98$)	0,00019
11	» ($d = 1{,}85$)	0,00014
12	Pizarra	0,00073
13	Asfalto	0,00033
14	Cemento	0,00015
15	Cáñamo	0,00001
16	Aire en calma	0,00001
17	Plomo	0,00382
18	Hierro	0,00778

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Cuando la materia cuya conductibilidad se quiere conocer está formada por varias substancias, es conveniente tomar un coeficiente proporcional á los coeficientes de los elementos que componen la masa.

La distribución de la temperatura en el interior de los terrenos hasta la profundidad de un metro se ha estudiado en el Observatorio de Montsouris en 1873 y 1874 en un terreno herbáceo expuesto al sol. En la tabla siguiente se consignan las medias mensuales observadas.

Tabla XLVI

MESES DEL AÑO 1873-1874.	Superficie del suelo	A una profundidad de				
		0m,02	0m,10	0m,20	0m,30	0m,00
Octubre	11°,9	10°,7	11°,6	11°,9	12°,2	14,3
Noviembre	7°,3	6,5	7,0	7,1	7,2	9,7
Diciembre	2°,6	3,2	3,8	4,1	4,3	7,1
Enero	4,9	3,9	4,3	4,2	4,2	5,9
Febrero	5,5	3,4	3,7	3,7	3,7	5,5
Marzo	9,1	6,2	6,5	6,5	6,2	6,5
Abril	15,5	10,7	11,1	10,8	10,6	9,7
Mayo	17,2	11,8	12,3	12,1	12,1	11,7
Junio	23,4	17,7	18,2	18,1	18,0	16,2
Julio	24,9	21,2	»	»	21,2	18,9
Agosto	21,3	18,0	18,4	19,0	18,8	18,4
Septiembre	20,0	16,3	16,7	17,3	17,1	17,3

Al aplicar las fórmulas expuestas es preciso tener especial cuidado en no adoptar como temperaturas del terreno las extremas, que sólo duran muy corto tiempo, pues en ese caso se obtendrían resultados exagerados.

La temperatura máxima del terreno debe ser la máxima entre las temperaturas que duran mayor tiempo.

173. *Filtración.*—Puede ser *natural* ó *artificial*, en *grande* ó *pequeña escala*. Las materias filtrantes pueden ser de acción *mecánica*, como la arena, grava, arenisca pulverizada, piedra pómez, escorias de altos hornos, amianto, lava, algodón, paja, papel sin cola, piedras porosas, etc.; de acción *química*, como la cal, carbonato de bario, limaduras de hierro, sulfato ferroso, etc., y, por último, de acción *mecánica* y *química* al mismo tiempo, como el carbón. Este último es el preferible por su gran eficacia depuratriz. A la filtración precede siempre la decantación, con lo cual se depositan primeramente la mayor parte de las substancias en

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

suspensión, haciendo pasar el agua por un depósito llamado *estanque de decantación* ó de *sedimento*, con la entrada por abajo y la salida por la parte superior.

Filtración natural.—Se aplica para utilizar el agua de los ríos y torrentes á través de los depósitos aluviales que con frecuencia forman el lecho y las márgenes. Este sistema (véase pozos y galerías filtrantes) supone que el lecho esté formado por elementos fácilmente permeables y que la corriente sea bastante fuerte para arrastrar las impurezas contenidas en las capas superficiales é impedir la acumulación del fango que se produce siempre en las superficies naturales de filtración, por cuanto esto, además de inutilizar el filtro, podría hacerlo peligroso higiénicamente.

Filtración artificial en gran escala.—Se practica para hacer potables las aguas pluviales, antes de recogerlas en los algibes ó cisternas, ó para las aguas de los ríos, torrentes, lagos y, en general, todas las aguas superficiales. Las obras necesarias constan de dos ó más depósitos de decantación, excavados en el terreno hasta unos 4 metros de profundidad, y á los que van anejos dos ó más grandes depósitos filtrantes. Los estanques de sedimentación están provistos de desaguadores para extraer el sedimento. Las paredes se forman generalmente por una capa gruesa de arcilla apisonada, revestida de fábrica con mortero de cemento. El agua clara pasa por medio de tubos de fundición á unas cajas de madera que desembocan en los filtros, con objeto de impedir la socavación que en ellos produciría el chorro directo; el agua atraviesa en los filtros diversas capas, que pueden ser, por ejemplo:

1.ª Arena muy fina lavada, espesor 0,80 ÷ 1,00 metros. Conviene siempre que la primera capa sea de arena muy fina, que pueda recogerse y transportarse fácilmente, por contener la mayor parte de las impurezas, siendo así más duradero el filtro y más fácil de limpiar.

2.ª Arena gruesa: 0,20 ÷ 0,30 metros.

3.ª Grava fina: 0,20 ÷ 0,50 metros.

4.ª Cantos medianos: 0,20 ÷ 0,50 metros.

5.ª Grava gruesa: 0,20 ÷ 0,50 metros.

Del fondo de los filtros pasa el agua por medio de canales de fábrica á un colector único, del que se extrae con bombas.

El rendimiento de estos filtros es de 1 ÷ 2 m^3 cada 24 horas por cada m^2 de superficie. Entre los filtros más notables de este género figuran los de Londres (en el Támesis), que dan unos 9.300 m^3 al día, y los grandes filtros de Berlín, que dan 80.000 m^3.

La limpieza de los filtros se hace cuando han suministrado unos 20 m^3 por m^2 en verano y 50 en invierno, ó sea unas 20 veces al año. En cada limpia se quita una capa de arena de 1 cm.; cuando

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el espesor de la capa de arena se ha reducido á la mitad, se la repone, ó bien se lava la arena extraída. La limpieza de la arena se hace en tambores especiales, cónicos, giratorios alrededor de un eje provisto de puntas y poletas, á los que es lanzada la arena por medio de una hélice que se mueve en sentido contrario al de una corriente de agua que también atraviesa el tambor. La arena pierde en este lavado el 90 por 100 de las impurezas.

Los higienistas discuten mucho la eficacia de los filtros y sostienen que todas las bacterias pasan á través de la arena. De todos modos se usan mucho y con éxito donde no hay otro medio de abastecerse de aguas potables.

Filtros industriales.—Se usan mucho los filtros para las industrias que requieren en general agua clara, aunque mantengan algunas impurezas fisiológicas. En estos casos, las substancias filtrantes, además de la arena sobre grava, son: la madera, la pasta de papel, algodón, esponjas, etc.

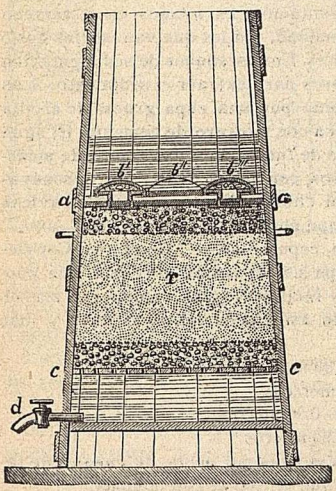


Fig. 102.

Hay un tipo muy moderno, perfeccionado por la Compañía Kemicott (París), que consiste en el tratamiento automático de cantidades variables de agua con cantidades variables de reactivos, de los que los más eficaces son la cal y la sosa.

Filtros domésticos.—La filtración doméstica en pequeña escala resulta más provechosa.

La fig. 102 representa uno de los filtros más comunes; consiste en un vaso que á poca distancia del fondo tiene un diafragma perforado, *e c*, y encima tres capas: la primera de gravilla molida; la segunda de gres y carbón, y la superior de arena; encima se coloca un disco de madera ó piedra con varios agujeros cubiertos con una esponja; el agua se vierte por la parte superior y se recoge por abajo, por medio de un grifo ó llave.

El efecto de los filtros es sólo mecánico, y cuando no pasa el

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

color azul ultramar, que se disuelve en glóbulos de $\frac{3}{10\,000}$ de milímetro, quedan detenidos también muchos microorganismos patógenos, como los de la tisis y la pulmonía, que tienen un diámetro doble; bajo este aspecto, las *fuentes filtrantes* (fig. 103) en las que el agua se filtra á presión á través de gres, dan óptimos resultados.

La fig. 104 representa un filtro Chamberland con la *bujía porosa*. La limpieza se hace exponiendo la bujía al chorro de una

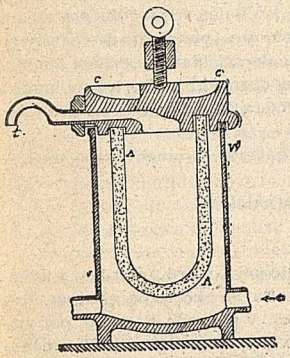


Fig. 103.

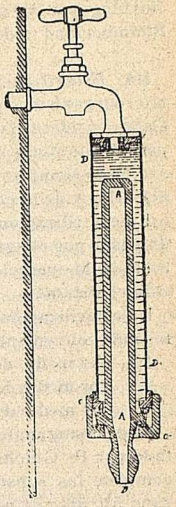


Fig. 104.

fuente ó poniéndola á la llama de un mechero de gas ó en un horno para quemar todas las materias orgánicas.

La filtración resulta cuando las aguas son turbias; las opalinas, debidas á la arcilla lechosa en suspensión, resisten la acción de los mejores filtros. Generalmente el enturbiamiento depende de la mala ejecución de las obras de conducción, que deben evitar la penetración de las aguas de lluvia con capas de arcilla bien comprimida, de hormigon ó mortero.

GASTO DE LOS FILTROS

Filtros sin presión.

Buhring	gasto por hora. . .			12,000 litros.
Chamberland	»	»	»	3,750 »
Barstow	»	»	»	1,500 »
De Mol	»	»	»	360,000 »
Cheavin	»	»	»	32.835 »
Maignen	»	»	»	4,050 »
Agneesens	»	»	»	15,600 »

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Filtros con presión

Breyer (presión de 0,37 metros de agua)	114,000 litros.
» (presión de la cañería)	210,000 »
Burhing (con 300 golpes de émbolo por hora)	517,000 »
Bhamberland (á dos atmósferas)	165,000 »

174 *Esterilización.*—Cuando se sospecha que un agua contiene microorganismos patógenos, hay que recurrir á la esterilización. Cabe considerar la filtración como una esterilización parcial, que pudiera llamarse *mecánica*. Sin embargo, la verdadera esterilización es siempre física ó química. La física se efectúa por medio del calor y de la electricidad. La química, por medio de reactivos.

La esterilización por medio de la electricidad se verifica haciendo pasar por el agua una fortísima corriente eléctrica; el mucho coste de la operación no permite hasta ahora aplicar en gran escala el sistema.

La esterilización química puede hacerse de muchísimos modos, los más convenientes son tres:

1.° Por medio del permanganato cálcico:
2.° Por medio del iodo.
3.° Por medio del ozono.

El permanganato de cal, propuesto por Girard y Bordas, y adoptado por P. Guichar, cuando se halla en exceso en el agua, descompone las substancias orgánicas, y pasando después por una capa filtrante de negro animal y óxidos de manganeso (los menos oxigenados), forma carbonato de cal y óxidos mangánicos, los cuales, reducidos por el carbono y por las substancias orgánicas, regeneran el óxido manganoso.

El iodo obra como un antiséptico enérgico El agua, tratada con $\frac{1}{100.000}$ de su volumen de iodo, queda libre de todos los gérmenes y substancias formadas, á causa de la acción enérgica de este cuerpo, pero adquiere algo del color y sabor metálico. Añadiendo por cada 100 litros de agua dos gramos de hiposulfito sódico, se forma una cantidad pequeñísima é inofensiva de ioduro Después de esto se pasa el agua á través de un filtro de carbón que no tenga fosfatos. Por esto es preferible el carbón de azúcar mezclado con $\frac{1}{4}$ de caolín ó arcilla lavada y $\frac{1}{3}$ de alquitrán.

Este método de esterilización, propuesto y ensayado por Allain en Marsella en 1894, importa un coste de unos siete céntimos por metro cúbico de agua. Puede ser objeto de establecimiento de grandes esterilizadores automáticos en frío. Tixier propone con ventaja el permanganato de alúmina y de barita, reactivos que

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

precipitan totalmente. Alfredo y Alberto Bergé proponen el peróxido de cloro.

El *ozono* es un poderoso antiséptico. En 1895 Marmier y Abraham lo aplicaron con el ingeniero Gosselín á la esterilización del agua del acueducto de Lille.

La instalación constaba de tres partes:

1.ª Instalación eléctrica.

2.ª Aparatos productores del ozono.

3.ª Aparatos de esterilización.

El ozono obtenido en los generadores pasaba por una columna de fábrica, en la que se hallaba en presencia del agua que se quería esterilizar; en el interior de la columna se verificaba una circulación metódica del ozono y del agua. Una filtración ligera eliminaba previamente las materias sólidas en suspensión. Algunos meses después de la instalación empezó á funcionar una Comisión nombrada por el Municipio de Lille, y tras una serie de estudios, estableció que todos los microbios patógenos que existían en el agua examinada se habían destruído por completo tratando el agua con una cantidad de ozono equivalente á seis miligramos por litro de aire. Sólo quedaron algunos gérmenes del *Bacillus subtilis*, inofensivo para el hombre y los animales, y que también puede destruirse elevando á nueve miligramos por litro de aire la cantidad de ozono. Esta esterilización cuesta menos de un céntimo por metro cúbico de agua.

175. *Instalaciones para elevación.*—La elevación mecánica de las aguas para abastecimiento de las potables no conviene económica, técnica ni higiénicamente, y sólo puede aceptarse cuando haya imposibilidad de proporcionarlas de otro modo.

En algunos casos, muy especialísimos, sí puede convenir; por ejemplo: donde haya una variación periódica muy grande de población, como sanatorios, balnearios, etc., y esto como auxiliar en los meses de mayor consumo.

A).—*Aguas superficiales.*

176. *Cisternas.*—Constan generalmente de una cuenca alimentadora, constituída por las cubiertas y azoteas de las casas ó por una zona de terreno elegido y cercado. A pesar de los mayores cuidados, no pueden evitarse las causas de contaminación por el suelo; por eso, después de una sequía, conviene tirar las primeras aguas pluviales que se recojan.

El depósito ó recipiente en que se reunen es una obra de fábrica, generalmente subterránea y cubierta: las aguas llegan á él por tuberías. La capacidad se determina en función de la cantidad

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de lluvia caída en el año y de la superficie de la cuenca de alimentación. (Véanse datos pluviométricos.)

Para las cisternas pequeñas conviene la forma de planta circular, con bóveda esférica ó anular apoyada en un pilar central. Las cisternas grandes generalmente son de forma rectangular, con bóvedas apoyadas en pilares. El espesor de los muros (si no hay que hacer cálculos especiales) debe ser próximamente la mitad de la altura del agua, y el nivel de ésta no debe exceder del plano de la imposta. El pavimento se hace de hormigón enlucido de cemento. Otras veces son un trozo de galería de sección ovoidal invertida. Deben tener siempre aliviaderos de fondo y de superficie, y es muy conveniente dividirla en compartimientos, tanto para facilitar las reparaciones como por alguna contaminación, y no tener que verter toda el agua.

Deben poderse instalar bombas. El terreno que rodea la cisterna ha de tener la pendiente hacia el exterior.

La figura 105 representa la llamada *cisterna veneciana*, destinada únicamente á usos domésticos.

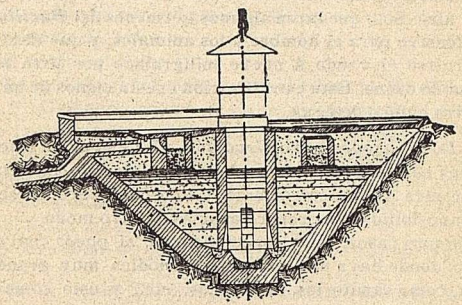


Fig. 105.

177. *Lagos artificiales ó depósitos.*—Los depósitos artificiales consisten en el cerramiento de un valle por medio de un dique ó presa, con objeto de retener las aguas pluviales en la estación invernal y utilizarlas durante el estío.

La capacidad del depósito se determina en función de la altura de lluvia y de la amplitud de la cuenca cuyas aguas afluyen al vaso. El dique puede ser de tierra ó de fábrica.

Es condición indispensable la impermeabilidad de la cuenca y la resistencia del terreno donde se construya la presa, así como la ausencia de toda habitación.

La toma de agua debe ser profunda, para evitar los cambios

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bruscos de temperatura; pero no tanto que arrastre los sedimentos del fondo. Las llenas rápidas remueven los sedimentos, cosa perjudicial.

Para el cálculo de las presas, véase parte tercera, § 3.º.

178. *Derivaciones de los ríos y lagos.*—El agua obtenida así es potable sólo en algunos casos, debiendo filtrarse previamente.

B).—*Aguas subterráneas.*

179. *Manantiales y su descubrimiento.*—Los manantiales son los afloramientos naturales de las aguas subterráneas. Cuando no aparecen al exterior, hay varios criterios que sirven de guía para encontrarlos.

Los caracteres geológicos y la orografía del terreno, la clase de plantas y el examen atento de todas las circunstancias locales pueden dar indicios seguros. Cuando antes de la salida del sol, especialmente en verano, se ve desprenderse vapor de la tierra, es indicio de agua; otros (Bellidor) aseguran la existencia de agua cuando los mosquitos vuelan cerca de la superficie del terreno; la existencia de juncos ó plantas acuáticas, la menta silvestre, etcétera, indican también agua.

En el estudio de los manantiales hay que considerar:

1.º *Su origen y cuenca hidrográfica.*—Pueden ser profundos ó superficiales; los primeros son constantes; los segundos, muy variables; la constancia varía con la altitud del manantial y es máxima al nivel del mar. Depende del tiempo que el agua de lluvia emplea en llegar á la capa de la fuente.

Para reconocer directamente la extensión de la cuenca alimentadora, se acostumbra á colorear el agua en el punto que se supone origen de la cuenca y ver en cuánto tiempo sale el agua coloreada. Se usa para ello la *uranina*, substancia inofensiva y de una gran potencia colorante; el tono es azul verdoso.

Hay que comprobar la cantidad de lluvia correspondiente á la cuenca orográfica con el gasto del manantial, para ver si la cuenca de alimentación corresponde ó es más extensa que la orográfica.

2.º *Naturaleza de las rocas que atraviesa.* (Véase núm. 28.)

3.º *Régimen del gasto y régimen correspondiente de lluvias.* La medición del gasto debe hacerse en varios períodos durante algunos años consecutivos, formando con los resultados un diagrama, en el que se consignen todas las observaciones sistemáticas, pluviométricas é hidrométricas de la cuenca.

4.º *Examen físico-químico y bacteriológico.*—A lo expuesto

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en el núm. 170 sólo hay que agregar que ese examen debe hacerse después de períodos de grandes precipitaciones atmosféricas.

180. *Obras de toma de los manantiales y conducción de las aguas.*

1.º *Manantiales que nacen en roca viva.*—Basta poner al descubierto la roca y practicar en ella las obras de toma.

2.º *Manantiales filtrados en detritus y que se manifiestan en pequeñas venas.*—Se hace un drenaje para recoger las aguas esparcidas y se procura alejar las aguas arriba de la filtración.

3.º *Manantiales que se manifiestan en los terrenos sujetos á erosiones.*—Se procura alejar el manantial hacia terreno sólido y luego se le hace aflorar en un pozo de toma por medio de una galería mayor ó menor.

Edificios de toma de agua.—Posición, lejos de los lugares expuestos á inundaciones y de población, y, sobre todo, muy alejados de estercoleros y cementerios.

Los elementos esenciales de una obra de toma, son (véanse figuras 106 y 107):

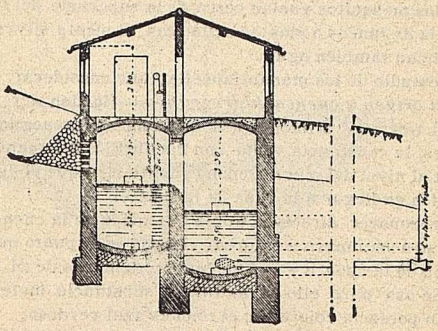


Fig. 106.

a) *Un muro que represe* el manantial ó *una galería de reunión y evacuación.*

b) *Un pozo de reunión ó depósito,* provisto de desaguador y aliviadero, constituído este último por un vertedero que en cualquier momento permita determinar el gasto del manantial.

c) *Un pozo de carga* con cañería ó canal desaguador. De este pozo sale el tubo, que debe estar provisto de un contador (como el de Venturi, etc.), para conocer la cantidad de agua que llega al lugar de consumo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Debe haber una casilla para los aparatos automáticos de registro y habitación para el guarda.

Todos los cierres y uniones serán de hierro, bien ajustados para evitar contaminaciones.

181. *Zona de protección.*—Aguas arriba de la obra de toma hay que expropiar una zona de terreno, que se deja inculto para que puedan discurrir fácilmente las aguas superficiales.

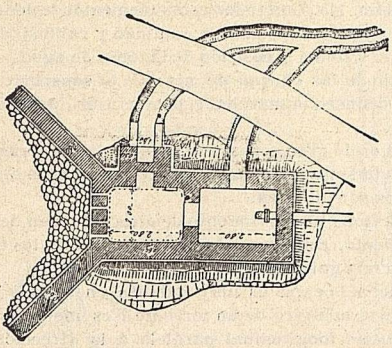


Fig. 107.

Esta zona de protección debe ser de 100 metros alrededor de la toma, si razones higiénicas no aconsejan otra cosa.

182. *Aguas freáticas* (véase núm. 30).—Son corrientes de agua subterráneas en una capa permeable. Se hallan en los llanos, al pie de las montañas, y están más ó menos influídas por las corrientes de agua exteriores.

El origen de estas capas es muy discutido.

Pueden ser debidas á filtración del agua de lluvia caída directamente en el valle. A veces representan el curso subálveo de un río ó debidos á corrientes que permanecen bajo el álveo abandonado naturalmente ó por desviaciones artificiales. Otras débense á la disminución de pendiente de la capa impermeable que sirve de base; salen al exterior (véase fig. 51). Suelen dar un agua abundante y excelente, pero deben analizarse.

Gasto.—Generalmente se estudian las oscilaciones del gasto respecto á las lluvias y nieves de la cuenca alimentadora del valle y en relación con los cursos de agua próximos que pueden alimentar el manantial ó ser alimentados por éste.

La medición del gasto se hace determinando, por medio de en-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sayos, todos los elementos relativos á las dimensiones de la capa acuífera y á la pendiente del curso, procurando obtener una planimetría de la zona con las curvas de nivel relativas al terreno, al nivel superior del curso subterráneo y á la capa impermeable de base.

Después de esto se pasa á la determinación de los coeficientes k y λ de permeabilidad y saturación, que puede hacerse en el gabinete; pero es preferible efectuarla por el método de campo, explicado en el núm. 145. Con todos estos elementos se deduce el gasto.

Toma de agua.—Conocidas la cantidad y calidad del agua, ha de elegirse el sistema y posición de la toma de agua.

Del estudio de las curvas de nivel de la superficie y fondo de la capa se deducen la marcha y potencia de la corriente subterránea.

Si la capa es de gran espesor y forma casi un brazo subterráneo con movimiento lento, basta practicar un pozo ó una serie de pozos unidos por tuberías.

Si la capa tiene un movimiento de dirección bien definido y una cierta pendiente, conviene represar el curso de los filetes subterráneos con una galería filtrante.

Por último, si la capa es muy extensa en sentido longitudinal (como el cauce subálveo de un torrente), es mejor practicar una galería filtrante longitudinal paralela á la dirección del mismo curso.

En todos los casos, los pozos aislados y alejados entre sí es el sistema más sencillo y económico y hasta el de mayor rendimiento.

Cualquiera que sea el sistema, se establece siempre la zona de protección citada (núm. 181).

183. *Pozos ordinarios.*—Generalmente son excavaciones de forma cilíndrica de 0,90 ÷ 1,00 metros de diámetro, con revestimiento interior de 0,15 ÷ 0,30 metros de espesor, llegando hasta 2,00 metros por debajo del nivel de la capa de agua subterránea y aun hasta el fondo de la capa permeable.

Hay muchos tipos: el tipo *Roddi* consiste en un pozo ordinario de fábrica y una galería circular concéntrica en la base de aquél, con dos pozos accesibles á los lados.

El sistema de *De Vincentis* sirve para alumbrar las aguas subterráneas de los valles, torrentes, etc.; se reduce á un dique transversal que represa y un pozo semicircular de absorción.

184. *Pozos tubulares ó Northon.*—Son tubos de hierro de 5 ÷ 6 centímetros de diámetro, de 10 ÷ 12 milímetros de espesor y de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

3 ÷ 4 metros de longitud; se unen á rosca. El tubo inferior lleva una punta de acero templado que permite hincarlo en el terreno á golpes de mazo; la parte próxima á la punta está provista de agujeros de 2,5 ÷ 3,5 milímetros de diámetro, dirigidas de abajo á arriba, para permitir la entrada del agua é impedir los obture la tierra en la hinca. Cuando el extremo inferior ha llegado á la capa acuífera, se introduce en el tubo una sonda, para remover las partículas terrosas que hayan penetrado, y se aplica á la boca superior una bomba aspirante (fig. 108).

La toma de agua puede hacerse á la profundidad que se quiera, y es muy fácil con ellos excluir las aguas superficiales. Son preferibles á los pozos ordinarios; pero ofrecen la dificultad de la limpieza. Para evitar la entrada de las arenas que obs-

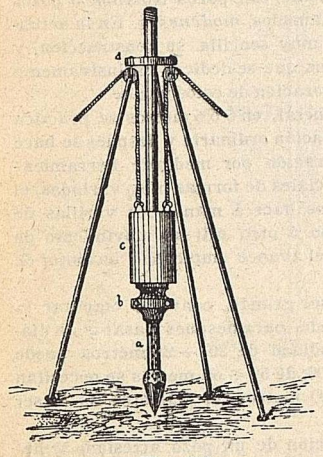


Fig. 108.

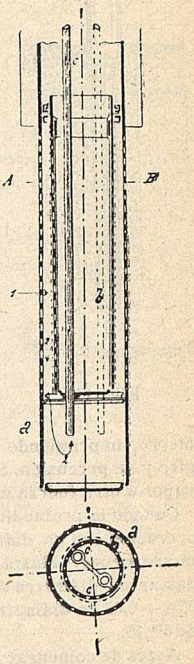


Fig. 109.

truyen los pozos tubulares, se acostumbra á ponerles un filtro, cuyo tipo más conocido es el de Smreker (fig. 109).

Si la toma no es á mucha profundidad, conviene poner los tubos dentro de un pozo, construído como los ordinarios y accesible, cerrado herméticamente, y conservándolo fijo en el punto donde quiera hacerse la toma. Se le rodea de una capa de arcilla, menos

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en la parte inferior, donde estará al aire libre, y en la que se coloca la alcachofa (fig. 110) del tubo de derivación.

185. *Aguas artesianas.* —Cuando la capa permeable está comprendida entre dos capas impermeables, el agua corre á presión; y si la línea de carga es superior al nivel del suelo, perforando la capa superior, el agua se eleva por el tubo hasta alcanzar su nivel piezométrico.

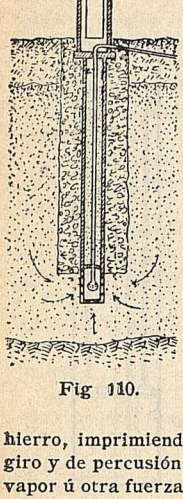


Fig 110.

Las aguas artesianas son casi siempre excelentes como aguas potables, porque en general tienen su origen muy lejano y llegan puras y con un gasto casi constante.

186. *Toma de aguas artesianas.* —La toma de aguas artesianas se hace casi exclusivamente con pozos Northon ó pozos de los llamados *modeneses*. En la actualidad es muy sencilla su construcción, y hay casas que se dedican exclusivamente á la perforación de estos pozos.

En general, en 5 ó 6 metros se practica la excavación ordinaria y después se hace la perforación por medio de herramientas especiales de formas muy variadas; el avance se hace á mano, con varillas de hierro, imprimiendo al trépano ú otro útil un movimiento de giro y de percusión. Se facilita el avance empleando un motor de vapor ú otra fuerza mecánica.

Cuando la profundidad ha de ser grande, conviene empezar la operación con un diámetro grande, para después pasar á un diámetro menor. Hasta la profundidad de $20 \div 25$ metros puede bastar un diámetro de $0{,}04 \div 0{,}05$; de $50 \div 60$ metros se necesitan $0{,}06 \div 0{,}08$ de diámetro; para 100 metros, el diámetro ha de ser de $0^{m},10$.

Antes de comenzar la perforación de un pozo artesiano se hacen varios sondeos en el terreno para conocer su estructura. La figura 111 representa las estratificaciones encontradas al perforar un pozo en la plaza del Dante, en Mantua.

El acueducto de Ferrara, inaugurado en 1890, está alimentado por siete pozos artesianos de $15 \div 30$ metros de profundidad, á unos 57 kilómetros de Ferrara. Las figuras 112 y 113 representan uno de los pozos citados; entre todos suministran un caudal de 7.000 m^3 diarios; los tubos son de hierro, de $0^{m},20$ de diámetro.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

187. *Pozos de toma y de carga.*—El pozo de carga, en el que de vez en cuando debe poderse aforar el agua que llega de la toma y que se distribuye á los usuarios, debe hallarse limpio, cerrado herméticamente y fuera de la capa filtrante.

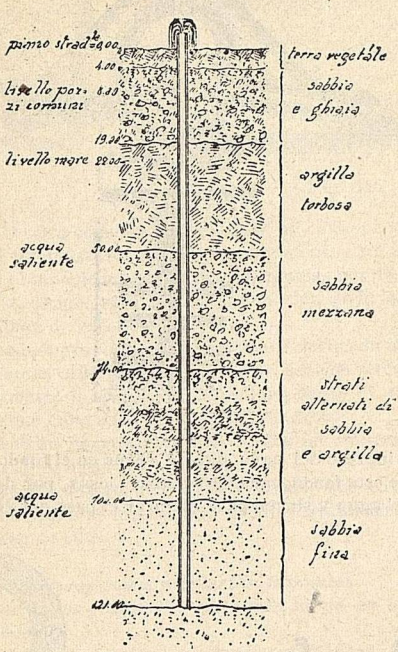


Fig. 111.

Un tubo, á ser posible á presión, une el pozo de toma con el de carga. Los dos pozos tendrán una caseta para las maniobras. Si la distancia entre los dos pozos ú obras de toma y carga es muy larga, se disponen cada 100 metros pozos de registro que permitan visitar la tubería.

188. *Galerías filtrantes.*—Pueden estar constituídas por sencillas atarjeas ó por verdaderas galerías subterráneas, practicables para visitarlas y limpiarlas.

En las galerías de fábrica, la sección es generalmente rectangu-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

lar, cubierta con una bóveda de medio punto; pueden ser también de forma ovoidal, como la de la figura 114. El muro de aguas arriba respecto al movimiento de los filetes líquidos tendrá mechina-

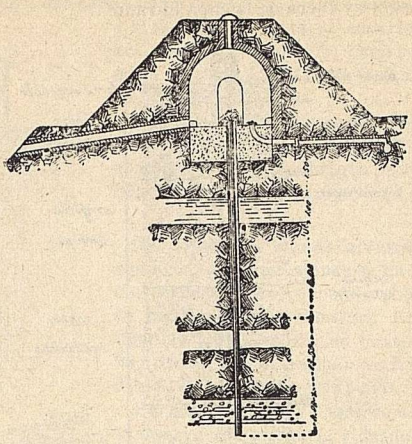


Fig. 112.

les para el ingreso del agua que se reune en el fondo de la galería, y sobre este fondo, cada 0,60 metros, losas, por debajo de las que corre el agua y sirven para facilitar el paso del vigilante.

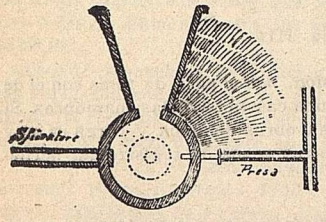


Fig. 113.

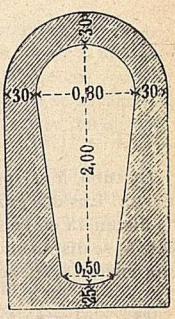


Fig. 114.

Cuando se quiere desviar las aguas de corrientes subálveas, se emplean construcciones especiales denominadas *presas enterra-*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

das ó subterráneas, en las que es condición indispensable tener en la cuenca del torrente, y á no mucha profundidad, la roca ó terreno impermeable (figs. 115 y 116).

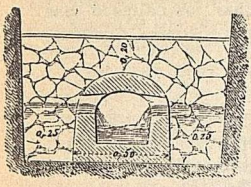


Fig. 115

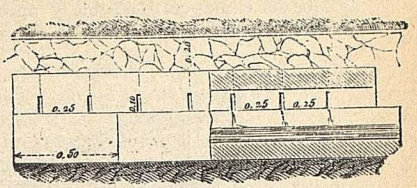


Fig. 116.

Entonces la obra consiste en represar el curso de la corriente subterránea con un muro, en cuyo interior se practica una galería que lleva en el lado de aguas arriba mechinales por los que entra el agua y se dirige, siguiendo la inclinación de la galería, á la parte donde han de recogerse.

Hoy se tiende á proscribir las grandes galerías de fábrica y en su lugar emplear cañerías de cemento de sección circular de ~ 1 metro de diámetro ú ovoidales, accesibles desde el exterior por pozos de registo colocados cada 50 ó 100 metros.

Los tubos están constituídos por anillos en contacto, de modo que dejan pasar el agua por las juntas.

Algunas veces constan de varias cañerías, que conviene sean independientes para no interrumpir el servicio durante la reparación de alguna de ellas.

189. *Cálculo de los pozos y galerías filtrantes.*

a) *Cálculo de los pozos.*—Se ha estudiado ya en los números 138 á 145.

b) *Cálculo de las galerías filtrantes.*—Véanse los números 135, 137, 142, 144, 146 y 147.

Cuando la capa tiene cierta pendiente y hay seguridad en el gasto que se necesita, se determina prácticamente la longitud de la galería. A partir del pozo de carga se empieza á construir en dirección de aguas arriba y con una pendiente menor para profundizar en ella, aumentando así el gasto por metro lineal (fig. 117).

Si hay modo de medir el gasto en el pozo de carga, se detiene la construcción en cuanto se ha llegado á obtener el gasto; este sistema tiene la ventaja de que, si hay que aumentarlo, puede prolongarse fácilmente la galería hasta llegar á la base de la capa filtrante y continuarla después siguiendo ésta.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

c).—*Conducción del agua desde la toma al lugar de empleo.*

190. *Trazado.*—A igualdad de las demás condiciones, el trazado debe ser el más corto posible y aprovechar las calles ó vías para evitar las expropiaciones, á veces muy costosas. Conviene

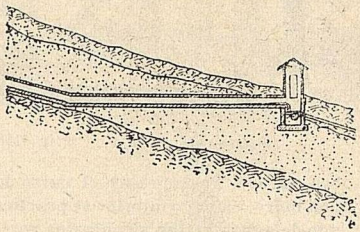


Fig. 117.

reducir al mínimum los cruces con otros cursos de agua y todas las obras de fábrica, que casi siempre ocasionan pérdidas de carga; la dirección, en lo posible, rectilínea, sin vueltas bruscas ni codos.

Hay que evitar las hondonadas profundas, que dan lugar á fuertes presiones, así como las grandes alturas, en que se corre el riesgo de exceder altimétricamente la línea de carga, porque la cañería deja de estar á presión y funciona con mucha irregularidad.

191. *Cálculo de la conducción exterior.*—Para el cálculo á nivel libre, véanse números 73 á 91.

Para las conducciones á presión, véanse números 103 á 119.

La pérdida de carga disponible está dada por el desnivel entre la cota del fondo del pozo de toma y la cota del nivel máximo de carga en el depósito ó en la columna piezométrica en el origen de la red de distribución interior.

Se admite que la pendiente de la línea de carga no ha de ser inferior á $0{,}0003 \div 0{,}0005$ por metro, y la velocidad en la conducción $\geqq 0{,}30 \div 0{,}40$ metros.

Si la conducción exterior tiene alguna derivación, las cotas piezométricas de los nudos pueden determinarse siguiendo el criterio de la máxima economía (véanse los números 120 y 121). Análogamente ocurre para la cota del depósito si éste está colocado en un punto intermedio.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

192. *Conducción á nivel libre ó medio caño.*—Cuando el agua circula en un tubo á medio caño, se calcula como un canal y no hay presiones. En este caso las fórmulas que se usan son las de los canales. Los tubos que mejor se prestan para las conducciones á medio caño son los de fábrica, barro cocido, piedra, cemento, asfalto, madera, hormigón, etc.

Los tubos de barro cocido son circulares casi siempre. Se colocan entre fábrica ó sobre una especie de zócalo de fábrica.

Las juntas se toman y revisten con cemento.

Los tubos de cerámica se prestan lo mismo á las conducciones libres que á las forzadas. Las uniones no difieren de las de tubos de barro cocido; dan buen resultado. Se ha perfeccionado mucho su fabricación.

Los *tubos de piedra,* poco conocidos, se han usado fabricándolos con serpentina, que es una piedra muy resistente. Mejor es la toba volcánica, que se trabaja fácilmente recién extraída de la cantera y que se endurece mucho en contacto del aire y del agua.

Los tubos de asfalto son muy poco conocidos y de poquísima resistencia; sólo se han usado hasta ahora para evacuación de aguas. Las juntas se hacen con asfalto.

193 *Conducciones forzadas.*—Los materiales que más se usan para cañerías en las conducciones forzadas son el hierro forjado, el fundido, plomo, bronce, aluminio, cobre, acero y vidrio. Los tres primeros son los más usados y tienen aplicaciones vastísimas; los demás sólo se usan en determinados casos especiales.

Los tubos de aluminio son una esperanza, pero nada práctico han dado hasta ahora. Los de cobre tienen aplicación en las bombas de uso doméstico. Los de vidrio se aplicaron en una fábrica en Macerata, sin que se haya imitado el ejemplo.

194. *Tubos de cemento.*—Son muy ventajosos en las conducciones, pero no en las distribuciones, por las muchas tomas y golpes de ariete.

Composición:

Cemento . .	De fraguado rápido	500 kg.	
	— — lento	— —	250 ÷ 350
Arena lavada		0,500 m³	0,500 m³
Grava menuda		0,800 m³	0,800 m³
Volumen total		1 m³	1m³

Resistencia y espesor.—Se admite son aplicables cuando la presión no excede de dos atmósferas. El espesor se calcula con la

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

fórmula (véase núm. 111)

$$e = \frac{D\,H}{30}\,.$$

Construcción.—Se construyen en la fábrica en trozos de 1,50 metros ~, unidos con manguitos.

Cuando el diámetro es grande se construyen en obra con un molde y sin solución de continuidad (como en el acueducto de Ferrara) (figs. 118, 119 y 120).

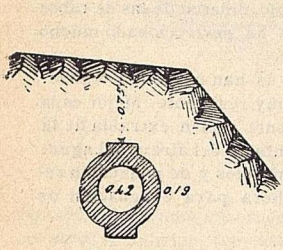


Fig. 118.

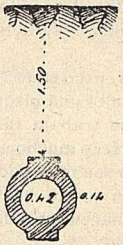


Fig. 119.

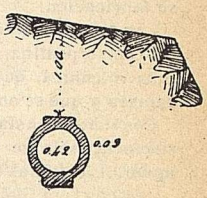


Fig. 120.

195. *Tubos de cemento armado*.—Están constituídos por una red metálica, envuelta en cemento, formada con barras longitudinales de acero, unidas por una armadura transversal en hélice, como se indica en las figuras 121 y 122. Aquéllas tienen la forma de I, U ó T, de 0,006 ÷ 0,025 de altura, para favorecer la adhesión del cemento. El metal trabaja á 15 kg. por mm² y la sección total de las barras transversales se calcula de modo que la armadura metálica resista por sí sola el esfuerzo máximo.

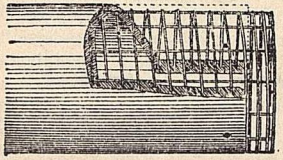


Fig. 121

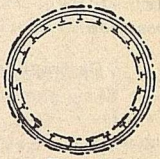


Fig. 122.

Estos tubos son económicos y están menos expuestos á las roturas é inconvenientes que algunos metálicos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Como ejemplo notable de tuberías de hormigón armado se consignan algunos detalles de las empleadas en los célebres sifones del Soza y Albelda (canal de Aragón y Cataluña), construídos por el eminente ingeniero de caminos D. J. E. Ribera.

El sifón del Soza mide 1.018 metros y está compuesto por dos tubos de 3,80 metros de diámetro interior, adosados y capaces de resistir una carga de 25 metros.

Consta la tubería de una chapa interior de palastro de 4 milímetros de grueso, roblonada, defendida por su parte interior con enlucido de cemento armado, y por la parte exterior por un tubo de hormigón de 0,15 metros de grueso, con una armadura compuesta de hierros en T en el sentido de las directrices, de grueso variables, según las presiones en las diferentes partes del tubo, y de hierros redondos en el sentido de las generatrices.

En las figuras 123, 124, 125, 126 y 127 se representan los detalles de las secciones correspondientes á las diversas cargas y los de las uniones de los tubos principales entre sí y con los secundarios

En el sifón de Albelda, que tiene 920 metros de longitud y 4 de diámetro interior, la presión es de 30 metros de altura de carga. En éste se suprimió la chapa de palastro, y el tubo se ha formado por un grueso de 0,20 metros de hormigón y la armadura dispuesta como en el del Soza, con hierros en T y redondos.

La figura 127 ofrece la sección transversal del tubo y los detalles de la armadura para las diferentes presiones.

Puede decirse que con el sistema de cemento armado cabe emplear los tubos en cualquier diámetro y presión; sin embargo, en la práctica no suelen resultar económicos, sino para tuberías que excedan de 0,50 metros de diámetro y presiones que no sean superiores á 35 ó 40 metros. Para los diámetros menores ó presiones mayores, dependen las ventajas del hormigón armado de las circunstancias locales. Hay muchos casos en que conviene emplear este material para tuberías de 30 y 40 centímetros. En estos últimos casos los tubos deben construirse en el taller por medio de moldes, generalmente metálicos y verticales, dentro de los cuales se coloca primero la armadura y después se apisona el hormigón de cemento, mientras que, á partir de diámetros superiores á 60 centímetros, conviene construir los tubos en la obra.

196. *Tubos de fundición.*—La fundición es preferible para las conducciones al exterior; el hierro para las aguas ascendentes en las distribuciones y el plomo para las descendentes.

Resistencia y espesor.—Los tubos de hierro fundido se construyen de varios espesores para diversas presiones, y se alquitranan interior y exteriormente. Los sistemas de juntas se explican

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

SECCIÓN DE LAS TUBERIAS SOBRE EL PUENTE SIFÓN DEL SOSA

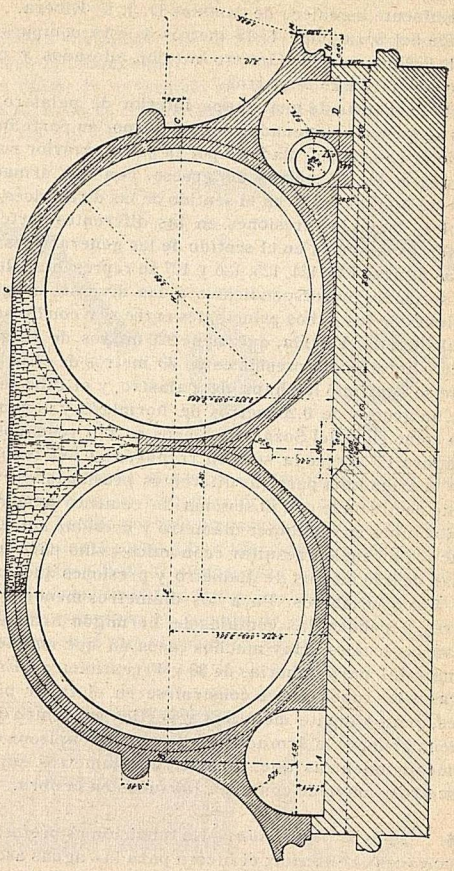


Fig. 123.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

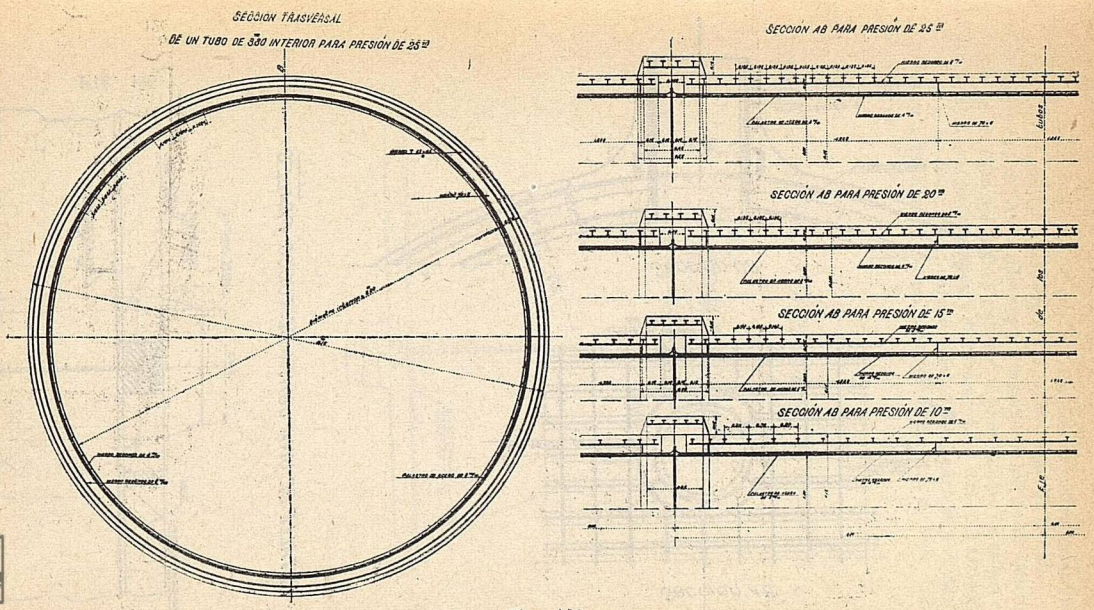
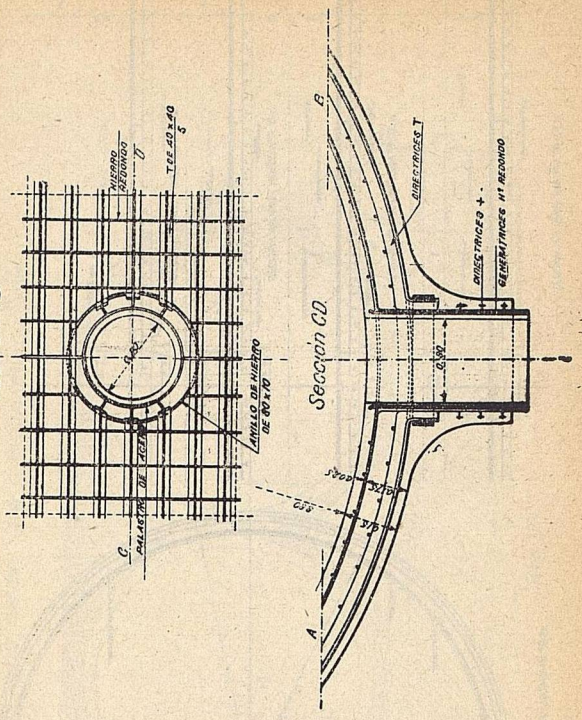


Fig. 124.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

EMPALME DE LAS TUBERIAS DE CARGA Y DESCARGA CON LA TUBERIA DEL SIFON



DETALLE DE UNA JUNTA DE TUBOS PRALES

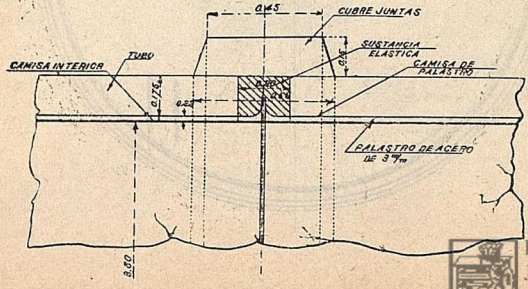


Fig. 126.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en los párrafos siguientes. Cada fábrica adopta criterio especial respecto á la longitud de los tubos y á los sistemas de juntas.

La Sociedad de Altos Hornos y Fundiciones de Terni fabrica los que se detallan del modo siguiente: la longitud de los tubos en obra es de 1,5 m. para diámetro de 20 mm.; 1,5 ÷ 2 m. para diámetro de 30 mm.; 2 ÷ 2,25 m. para 40 mm.; 2,5 m. para 50 y 60 mm.; 3 m. de 70 ÷ 225 mm.; 3 ÷ 4 m. para 250 mm.; 4 m. de 260 ÷ 1.250 milímetros.

DETALLE DE UNA JUNTA DE TUBOS SECUNDARIOS

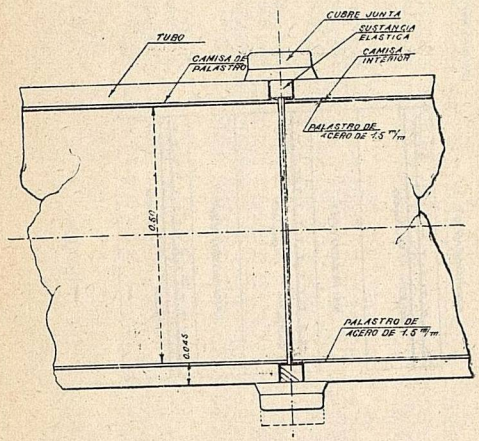


Fig. 127.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

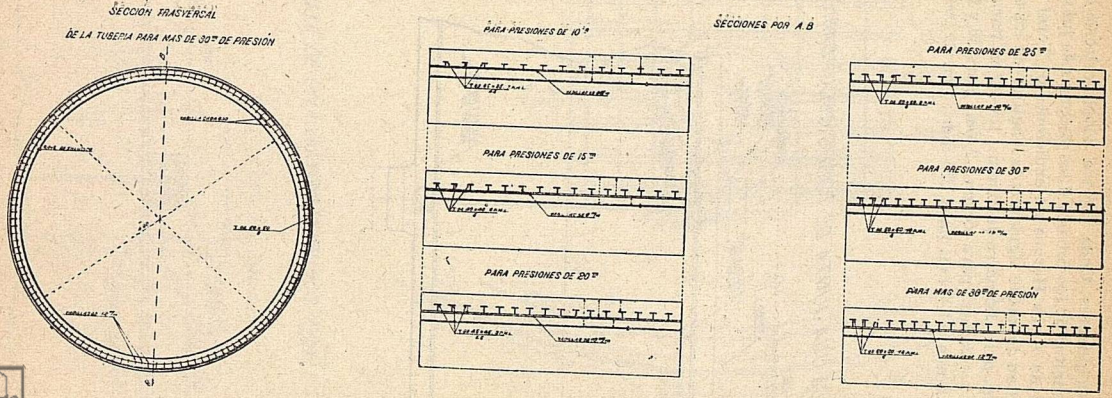


Fig. 128.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tabla XLVII$_5$—**Tubos de hierro fundido, unión con manguitos.**

Diámetro interior...	Presión de prueba en atmósferas.												Plomo..	Cáñamo
	10		15		20		25		30		40		Por cada junta.	
	Espesor...	Peso por metro corrte..	Espesor...	Peso por metro corrte..	Espesor...	Peso por metro corrte.	Espesor...	Peso por metro corrte.	Espesor...	Peso por metro corrte.	Espesor...	Peso por metro corrte..		
mm.	mm.	kg.	mm.	kg.	mm	kg.	mm.	kg.	mm,	kg.	mm	kg.	kg.	kg.
20	7	5,0	7,5	5,3	8	5,6	8,5	6,0	9	6,5	9,5	7,0	0,25	0,02
30	7	6,5	7,5	7,5	8	7,5	8,5	8,0	9	8,5	9,5	9,0	0,37	0,03
40	7,5	8,5	8	9,0	8,5	9,5	9	10,2	9,5	10,7	10,5	12,0	0,50	0,05
50	8	11,5	8,5	12,2	9	13,0	9,5	14,0	10	15,0	11,5	16,0	0,58	0,08
60	8,5	14,5	9	15,5	9,5	16,5	10,2	17,5	10,8	18,0	12	20,5	0,70	0,09
70	9	17,5	9,5	18,5	10	19,5	11	21,0	11,5	22,0	13	25,5	0,97	0,13
75	9	19,5	9,5	20,0	10	21,0	11	23,2	11,5	24,3	13	27,4	1,04	0,14
80	9	20,5	9,5	21,6	10	22,8	11	25,0	12	23,3	13,5	31,0	1,08	0,15
85	9	22,0	9,5	23,5	10,5	25,7	11,5	28,0	12	29,3	13,5	33,0	1,15	0,15
90	9,5	23,5	10	25,0	10,5	26,0	11,5	28,5	12	29,7	14	34,5	1,25	0,16
100	10	26 0	10,5	27,3	11	28,6	12	31,2	12,5	32,5	14	36,5	1,60	0,22
110	10	29,0	10,5	30,0	11	32,0	12	35,0	12,5	36,3	14,5	42,0	1,77	0,24
120	10,5	32,0	11	33,5	11	35,0	12,5	38,0	13	89,5	15	46,0	1,91	0,25
125	10,5	34,5	11	36,0	11,5	38,0	12,5	41,0	13	43,0	15,5	51,0	1,98	0,27
130	10,5	36,0	11	38,0	11,5	39,5	12,5	43,0	14	48,0	15,5	53,0	2,04	0,28
135	10,5	37,0	11	39,0	11,5	40,5	13	46,0	14	49,5	16	56,5	2,10	0,29
140	10,5	38,5	11,5	42,0	12	44,0	13	48,0	14,5	53,0	16	59,0	2,25	0,30
150	10,5	40,0	11,5	44,0	12	46,0	13,5	51,5	14,5	55,0	16,5	63,0	2,30	0,31
160	11	44.0	11,5	46,0	12,5	50,0	14	56,0	15	60,0	17	68,0	2,45	0,33
170	11	47,5	11,5	50,0	12,5	54,0	14,5	62,5	15,5	67,0	17,5	75,5	2,62	0,34
175	11	49.0	11,7	52,0	13	58,0	14,5	64,5	15,5	69,0	17,5	78,0	2,65	0,34
180	11	53,0	12	58,0	13,5	65,0	15	72,5	16	77,0	18	87,0	2,70	0,35
190	11	55,5	12	60,5	13,5	68,0	15,5	78,0	16,5	83,0	18,5	93,0	3,00	0,37
200	11,25	58,0	12,5	64,5	14	72,5	15,5	80,0	17	88,0	19	98,0	3,34	0,38
220	11,5	69,0	12,5	75,0	14,5	87,0	16,5	99.0	18	108,0	20	120,0	3,65	0,41
225	11,5	71,0	12,5	77,0	14,5	89,5	16,5	102,0	18	111,0	20	124,0	3,75	0,42
250	12	79,0	13,5	89,0	15,5	102,0	17,5	115.0	19,5	128,0	22	145,0	4,08	0,43
270	12,5	86,0	14	96,5	16	110,0	18	124,0	20,5	141,0	23,5	162,0	5,24	0,45
300	13,5	101,0	14,5	109,0	16,5	124,0	18,5	149,0	21	157,0	25	187,0	6,39	0,66
350	14,5	124,0	16,5	141,0	18,5	158,0	21	180,0	24	205,0	29	248,0	8,37	0,69
400	15	147,0	17	167,0	19,5	191,6	23	225,0	26	255,0	33	323,0	9,46	0,78
450	15,5	180,0	18	209,0	21	244,0	25	290,0	29	337.0	37	429,0	10,56	0,83
500	16	200,0	19	237,0	22,5	281,0	27	338,0	31,5	394,0	41	512,0	11,63	0,85
550	17	232,0	20	273,0	23,5	321 0	29	396,0	34	464,0	45	614,0	13,00	0,90
600	18	266,0	21	310,0	25	370,0	31	458,0	37	547,0	49	724,0	15,00	0,95
650	18,5	296,0	21,5	344,0	27,5	440.0	34	544,0	40	640,0	53	847,0	16,20	1,15
700	19	330,0	22,5	390,0	29	504,0	36	624.0	43	746.0	57	990,0	17,33	1,25
800	20	410,0	25	512,0	33	676,0	41	840.0	48	984,0	65	1330,0	19,67	1,45
1000	22	536,0	31	755,0	40	975,0	50	1220,0	60	1460.0	80	1950,0	24,34	1,80
1250	26	820,0	38	1200,0	50	1580,0	63	1990,0	75	2365,0	100	3160,0	32,55	3,10

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

197. *Tubos de acero Mannesmann.*—Los tubos Mannesmann, fabricados sin soldaduras, resisten presiones enormes y el coste no es muy elevado, Un tubo Mannesmanns, de 35 mm. de diámetro y 3,5 mm. de espesor, se rompió sólo á la enorme presión de 1,500 atmósferas.

Se construyen en piezas de 7 á 11 y 15 metros de longitud, y diámetros de 40 á 275 milímetros, con espesores que varían de 3 á 7,5 milímetros. Se prueban á 75 atmósferas.

198. *Sistemas de juntas.*—Los diversos sistemas de juntas se pueden dividir en dos grandes categorías: 1.ª, en frío; 2.ª, en caliente.

a) *Junta de bridas* (fig. 129).—Las bridas consisten en un reborde ó platillo en que termina el tubo y van provistos de taladros para los pernos. En la figura se ven las proporciones y distancia. En *A* hay una guarnición de cuero, plomo ó caucho.

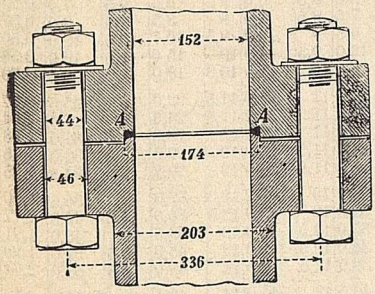


Fig. 129.

b) *Junta del tipo Pétit* (fig. 130).—Es necesario que los tubos tengan la forma especial del sistema y estén provistos de dos orejas perforadas, á las que se fija un pasador, y se colocan haciendo palanca en el tubo, como se ve en la figura.

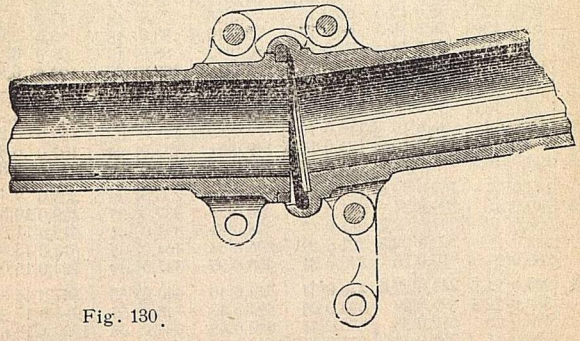


Fig. 130.

c) *Junta con prensa-estopas* (fig. 131).—El tubo no tiene co-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

llares ni formas especiales; está cortado en los dos extremos: es muy útil cuando ocurre tener que cortar los tubos.

d) Las *juntas de precisión* consisten en tornear los tubos de modo que las partes que han de ajustar cierren perfectamente (fig. 132). Estas juntas son muy rígidas y no se prestan á la menor desviación.

Fig. 131

e) Las *juntas de tornillo* son iguales á la precedente, diferenciándose en que el macho y la hembra están fileteados.

f) Las juntas del sistema *Lavril* son una modificación de las bridas; hasta diámetros de 80 milímetros llevan dos orejas para aplicar los pernos; en los de diámetros mayores el número es de tres, cuatro ó más.

Fig. 132.

2.ª *Juntas en caliente.*—Se hacen con plomo fundido, y este sistema se llama de *enchufe* y *cordón* (fig. 133).

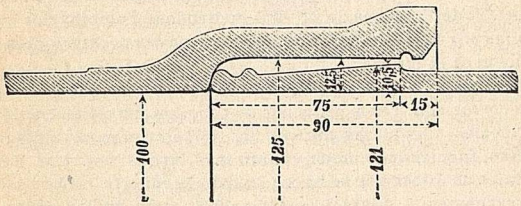


Fig. 133.

El tubo con *cordón* penetra en el otro y la cuerda alquitranada queda comprimida en el espacio anular que resulta; después se introduce el plomo fundido. Para estas juntas hay que efectuar las siguientes operaciones, necesitándose varios accesorios:

Cuando hay que cortar dos tubos, ó unir el acueducto en un punto donde los tubos no tienen enchufe, se emplea un *anillo* ó bien un trozo con dos enchufes, que recibe por un lado y por otro los extremos de los tubos, haciéndose entonces dos soldaduras, una á cada lado del anillo.

199. *Piezas especiales.*—Cualquiera que sea el sistema de juntas que se emplee, hay siempre en las cañerías piezas especiales que á veces tienen formas particulares, que hay que fundir, y

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

otras son formas corrientes, que se encuentran en el comercio. Las principales piezas especiales son: los *codos*, *manguitos* é *injertos*, y éstos pueden ser con derivación *central* ó *tangencial*, *calzones* ó **YY** griegas, en **T**; *piezas cónicas*, *juntas especiales* ó *de dilatación*, *rótulas*, etc. Las piezas en **T** (fig. 134-135) sirven para derivaciones y para doblar en ángulo recto una calle, y tam-

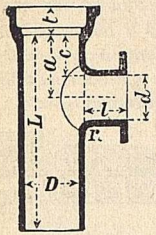


Fig. 134.

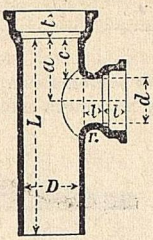


Fig. 135

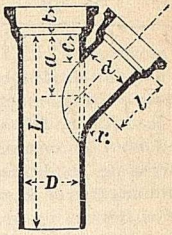


Fig. 136.

bién para disponer llaves y aparatos. Las piezas curvas pueden ser de enchufe y cordón ó de brida, según el sistema de la cañería.

El radio de curvatura tiene poca importancia, se representa por una fracción de círculo; así son: de $^1/_4$, si el ángulo es de 90º; de $^1/_8$, si es de 45º; de $^1/_{16}$, si es de 22º 30′, pudiéndose combinarlos entre sí. En las *curvas*, el espesor de la parte convexa (exterior) es mayor que el de la interior.

Las piezas en *cruz* son piezas en **T**, con dos derivaciones. Las piezas *cortas* son trozos pequeños de tubo con juntas especiales en los extremos. Las piezas *cónicas* (fig. 137) sirven para cambiar de diámetro, funcionando mejor cuanto más largas son. Las juntas especiales de dilatación se hacen cuando la cañería está expuesta á contracciones y dilataciones (fig. 138), como en los puentes y

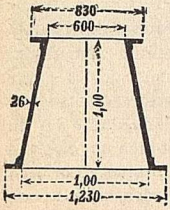


Fig. 137.

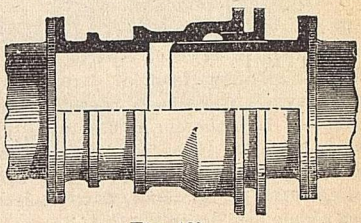


Fig. 138.

acueductos. Dichas juntas funcionan generalmente con guarniciones prensa-estopas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Además de las citadas, hay otras juntas: de *rótula* (fig. 139), que pueden girar en todos sentidos sin alterar en nada la marcha. En la distribución se indicarán otras piezas especiales.

200. *Prueba de las cañerías.*—Cuando se ha construído una

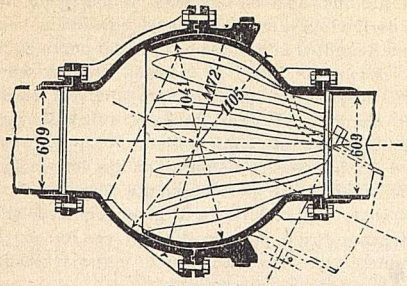


Fig. 139.

cañería, es necesario probarla á presión, por varias razones: primera, para ver si hay tubos débiles ó rotos, y reponerlos; segunda, para ver si los aparatos rigen á la presión debida y asegurarse de que las juntas están perfectamente.

Las pruebas se hacen en general á una presión que exceda en varias atmósferas á la presión piezométrica máxima á que han de estar sometidos los tubos durante el funcionamiento.

Para efectuar estas pruebas, se tapan los extremos del tubo con placas de cierre, hechas de diversos modos. Uno de los sistemas más usados es el de la figura 140. La cañería se llena previamente

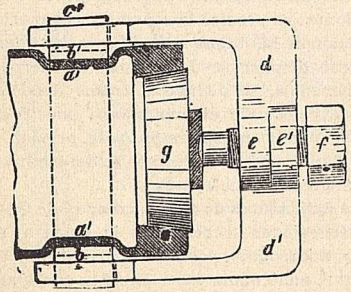


Fig. 140.

de agua. Es necesario conocer, por medio del perfil, la carga piezométrica de todos los puntos de la cañería. En un punto cualquie-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ra, generalmente en uno de los extremos, se intesta un tubo, que comunica con una prensa de manómetro, la que, por otra parte, comunica con un depósito lleno de agua. Maniobrando con la prensa se comprime el agua en la cañería y se observa el manómetro. En tanto que funciona la prensa, el índice del manómetro avanza con oscilaciones, marcando presiones cada vez mayores. Cuando se ha llegado á la presión normal del punto de aplicación, se continúa elevándola hasta la máxima presión señalada para la prueba. En las pruebas á grandes presiones, la maniobra de la prensa debe hacerse con gran cuidado, evitando movimientos bruscos al émbolo en su movimiento lento.

Si el índice del manómetro se mantiene fijo, hay gran probabilidad de que la cañería esté perfectamente cerrada; de todos modos, y, sobre todo, si la cañería es de gran longitud, conviene recorrerla mientras está á presión. Alguna vez ha ocurrido estar fijo el manómetro mientras salía mucha agua, debiendo atribuirse esto á una considerable masa de aire.

En general, cuando hay fugas, el manómetro sube rápidamente. Cuando estos criterios no pueden servir, se recorre atentamente la conducción en toda su longitud mientras está á presión. Si ocurre alguna explosión ó rotura, el manómetro baja rápidamente. Es preferible colocar el manómetro en los puntos más altos. Se continúa la prueba hasta que todo es regular y se han reparado los defectos observados en el ensayo. Después se cubre la cañería, teniendo cuidado de poner primero las materias más finas, después las más gruesas, y el sobrante se apila sobre la cañería. En la calle se apisonan estas tierras.

Investigaciones de las fugas y obstrucciones.—Cuando después de cubiertas las cañerías se presume puede haber filtraciones ú obstrucciones, es preciso buscarlas y repararlas.

La investigación de las fugas se hace principalmente con el manómetro. Si puede disponerse de varios vertederos, aforando el agua que sale por ellos, se deduce el tramo donde está la fuga. También se hace colocando el manómetro sucesivamente en varios puntos, observando en cuál empieza la presión á ser menor que la normal, y por tanteos sucesivos se determina con bastante facilidad el punto donde está la fuga.

Hay aparatos indicadores de fugas, como el de Oesten.

Para las obstrucciones se descarga la cañería, después se introduce el agua, midiéndola, y se la hace salir por el primer descargadero ó llave, midiéndola también; si la cantidad de agua que sale es igual á la que entra, no hay interrupción. Se cierra la primera llave y se repite la operación con la segunda, continuando así hasta llegar á una llave en que no salga el agua; si, por ejem-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

plo, es en la séptima, la obstrucción está entre la sexta y séptima. Si sale una cantidad de agua inferior á la que entra, entonces la obstrucción es parcial. El punto exacto donde está la obstrucción puede determinarse con el manómetro, como las fugas, ó bien se procede por el sistema siguiente:

Se desagua la cañería y se abre la primera llave, que no dé toda la cantidad de agua. Se llena, midiendo el agua que entra y la que sale. En cuanto se ha llenado la cañería, se halla la diferencia entre el agua que ha entrado y salido, y esta diferencia, dividida por la capacidad de un metro de cañería, dará en metros la distancia entre el punto de entrada y el de la obstrucción.

Hoy se averiguan las fugas y obstrucciones con un micrófono; pero el rozamiento con las paredes y otras circunstancias dan lugar á confusión.

D).—*Aparatos y obras de arte en las conducciones exteriores.*

201. *Aparatos.*—En las cañerías se necesitan aparatos, además de las piezas especiales descritas. Los principales, son: las *alcachofas, llaves de detención, toma, intermitentes, desagüe, ventosas, manómetros, aparatos para evitar los golpes de ariete, válvulas.*

Alcachofas son aparatos que se ponen en la embocadura de las cañerías y tienen por objeto evitar entren en éstas las materias que arrastre el agua; consisten en esferas huecas, provistas de numerosos agujeros, por los que entra el agua, y terminados en un tubo que se empalma á la cañería.

Otras veces llevan un tubo pequeño, que sirve para evacuar el aire de la cañería.

En vez de esféricas pueden ser de otras formas (fig. 141).

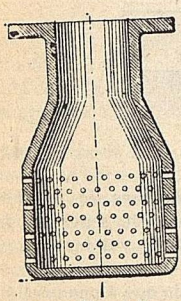


Fig. 141.

202. *Válvulas de retención.*—Como aparato *para evitar los golpes de ariete* se han ideado muchos tipos, que, en resumen, sólo son válvulas de seguridad. ¡A veces hay que impedir el retroceso del agua, y entonces se colocan á lo largo de la cañería *válvulas de retención* (fig. 142), que consisten en válvulas de charnela puestas en la dirección del movimiento y que se cierran cuando el agua se mueve en sentido contrario.

203. *Cajas ó depósitos de limpia.*—Cuando las aguas contienen muchas materias en suspensión con-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

viene construir cajas de limpia, en las que entra el agua y deposita las materias.

Pueden ser á presión cuando se trata de materiales gruesos

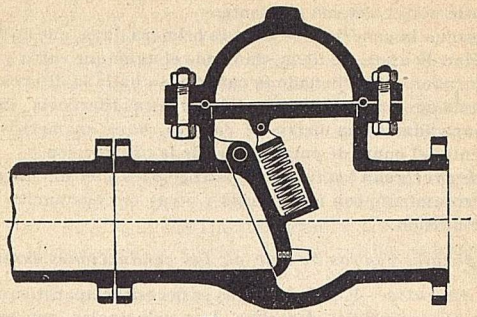


Fig. 142

(figura 143); si son materias finas, conviene vastos depósitos, provistos, si es posible, de buenos filtros.

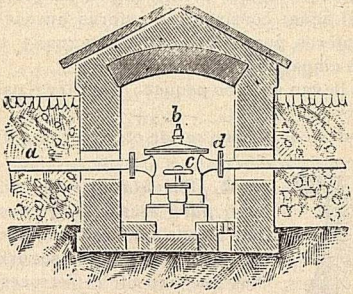


Fig 143.

204. *Reguladores de presión.—Los reguladores de presión* se hacen para que, análogamente á las válvulas de seguridad de una caldera, se abran bajo un peso determinado y dejen salir el agua de la cañería.

Los reductores de presión se hacen de modo que á una presión dada cierren automáticamente la admisión del agua y la abran apenas ha disminuído la presión interior.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Las válvulas de seguridad tienen por objeto prevenir los daños causados por las roturas; es decir, inundaciones, socavaciones, etc. Son de dos tipos: unas que, al romperse el tubo, cierran las cañerías y detienen el agua; otras abren un aliviadero y conducen el agua á un canal á propósito.

205. *Cajas de prueba.*—Son aparatos especiales que se colocan cada 200 ÷ 500 metros á lo largo de la cañería exterior y tienen por objeto aislar los trozos en que se van á efectuar las pruebas de presión.

Constan de una parte fija á la cañería, que se coloca durante el asiento de la cañería, y de una parte móvil, que se une á la cañería cuando se va á hacer la prueba. La figura 144 representa el

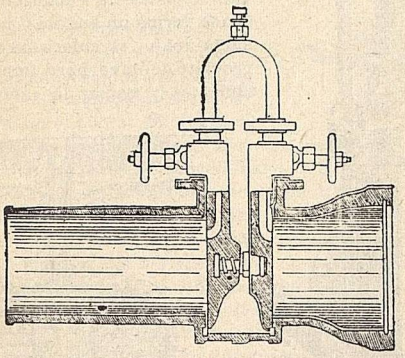


Fig 144.

tipo Torelli, y, como se ve, la parte móvil permite la comunicación de la prensa con el trozo de aguas arriba ó el de aguas abajo de la cañería y también el pozo del agua de una parte de la cañería probada á la otra.

206. *Manómetros.*—Son instrumentos destinados á medir la presión en las cañerías, habiendo muy diversos criterios para medir con exactitud la velocidad del agua, y, por consiguiente, el gasto, y deducir si hay fugas y obstrucciones. Para ello se une algunas veces al manómetro un aparato de alarma con timbre eléctrico, que avisa cuando ocurre algo anormal en la cañería. En las conducciones de importancia es muy conveniente instalar varias estaciones manométricas, debidamente vigiladas por un guarda.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

207. *Válvulas de detención.*—Las llaves de detención, como las de desagüe, son aparatos por medio de los cuales se puede interrumpir la circulación por la cañería ó abrir una salida al agua para descargarla. Generalmente son de hierro fundido al exterior; interiormente se trabajan con gran esmero y se hacen de bronce ó metal *Delta* (fig. 115). El tipo representado en la figura es de tornillo exterior; los más corrientes tienen el tornillo interior. Estas llaves se mueven por medio de vástagos ó varillas que se elevan hasta la altura del suelo y están contenidas en cajas á propósito.

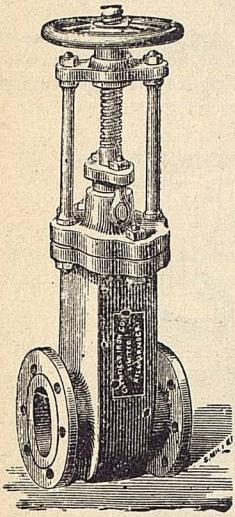


Fig. 115.

Las llaves de descarga se colocan en los puntos más bajos de las cañerías.

208. *Desaguadores.*—En los puntos más bajos de la conducción, es decir, donde forma un ángulo con el vértice hacia abajo, se coloca un desaguador provisto de llave para impedir los sedimentos y vaciar la cañería cuando

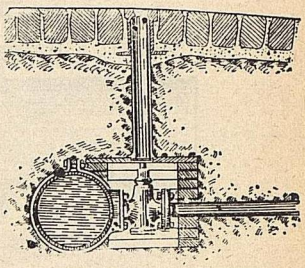


Fig. 116.

sea necesario. Estos desaguadores deben estar en número y posición tal que cualquier trozo de la cañería pueda vaciarse por él en un tiempo relativamente corto. Si la rama ascendente fuese muy larga, se colocarán estos aparatos cada 100 á 200 metros.

Generalmente están constituídos por una derivación en T hecha en la cañería, á la que sigue una válvula de descarga que se abre con una llave y colocados en pocetas á propósito. El desaguador comunica con un tubo que conduce el agua al colector más próximo, y si esto no fuese posible, se recoge el agua en un pozo, del que se extrae con una bomba.

Esto es necesario casi siempre en los sifones para poner por debajo de otras vías ó corrientes.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

209. *Ventosas* son aparatos destinados á dar salida al aire de las cañerías; se colocan en los puntos culminantes de la misma. Unas consisten en un tubo vertical abierto en el extremo superior; otras se reducen á un aparato compuesto por una esfera hueca, con un orificio en la parte superior y conteniendo un flotador esférico de metal, madera ó caucho (fig. 147). Estas á veces no funcionan bien, porque, bajo una presión fuerte, el aire hace adherir el flotador al orificio. Para evitarlo se han ideado otros tipos como el de *Terni*, el de *Astorri*, de palanca múltiple, y el aliviadero doble de palanca de cristal, de *Perdoni*.

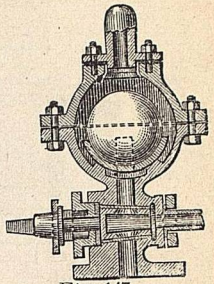


Fig. 147.

210. *Columnas piezométricas.* — A veces las ventosas están constituídas por tubos verticales unidos á la cañería, y funcionan como ventosas al nivel piezométrico en aquel punto. Sirven para establecer puntos fijos en la línea de carga y se llaman *columnas piezométricas*. Se colocan especialmente en los puntos donde cambia el diámetro del tubo y en general en los cambios de pendiente de la línea de carga. Si la altura piezométrica es muy fuerte, se procura aprovechar torres existentes, á las que se lleva el tubo, apoyándolas en ella verticalmente. A este tubo se le da generalmente el diámetro de la cañería á que se enlaza, para que pueda servir eventualmente para desaguar el gasto completo: debe acoplárseles un tubo igual descendente que conduzca al desaguador; la unión superior de los dos tubos se hace en **U** invertida y con muchos agujeros.

Las columnas piezométricas son muy útiles para garantir las tuberías de aguas abajo (especialmente si son de cemento) de un exceso de presión, y son perjudiciales si aguas arriba hay un depósito, porque impiden se acumule en él el agua. En esos casos conviene transformar las columnas piezométricas en las llamadas *casetas* ó *cajas de llegada*, provistas de flotadores, como las que se indicarán al tratar de los depósitos.

211. *Depósitos de reunión y de interrupción.*—Cuando hay que reunir el agua de dos ó más manantiales, se puede proceder de varios modos: ó se unen los diversos tubos en uno solo de diámetro mayor, ó se reunen todas las aguas en un depósito de carga, del que parte la cañería mayor, poniéndose nuevamente en carga.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Algunas veces, con objeto de disminuir la presión, se disponen depósitos de interrupción, hechos como un depósito de carga. Estos moderadores de presión se construyen también de metal (figura 148), y con ellos se pueden efectuar cambios de diámetro.

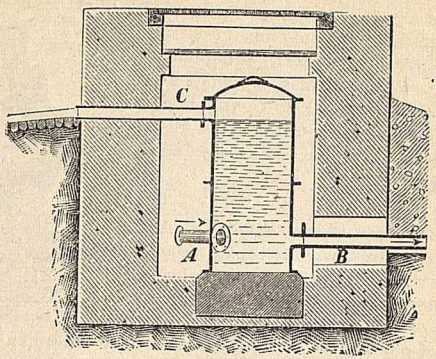


Fig. 148.

212. *Partidores.* – Sirven para dividir el agua de una conducción en proporciones dadas. Es casi imposible reunir en la práctica las condiciones necesarias para poder dividir el agua á presión; de aquí que se construyan depósitos de nivel libre. Si el volumen ha de dividirse en partes iguales, basta enlazar en el depósito de reposo dos ó más orificios exactamente iguales y perfectamente á nivel (fig. 149), y por todos ellos saldrá la misma cantidad de agua que, recogida en diversos depósitos, irá á su destino.

Si el agua ha de dividirse en diversas proporciones, se practican en una lámina metálica tantos orificios iguales y á nivel constante como son las unidades totales; así, si fuesen $\frac{7}{40}$, $\frac{18}{40}$, $\frac{15}{40}$, se hacen 40 orificios: 7 verterán en un depósito; 18, en otro, y 15, en el último.

213. Cuando la conducción ha de atravesar otras obras, calles ferrocarriles, corrientes de agua, etc., es necesario efectuar obras especiales. *Para cruzar un ferrocarril ó camino ordinario,* que estén en terraplén, conviene construir una especie de puente (figura 150), y si la vía está en desmonte, es útil disponer un pozo de descarga y también de acceso á la obra por donde va la conducción.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Cruces de diques.—Hay que hacerlos con especialísimo cuidado, pues la rotura de un tubo pudiera ocasionar una inundación. Lo mejor es construir una obra análoga en planta y alzado á la

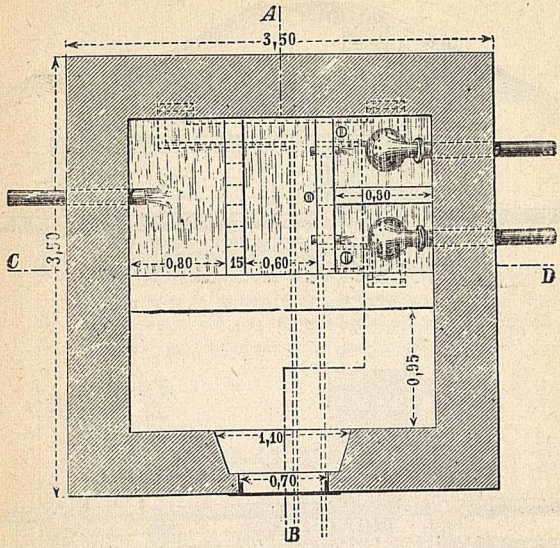


Fig. 149.

representada en las figuras 151 y 152. Pueden estudiarse muchas disposiciones análogas. Lo esencial es siempre una buena esclusa de desagüe.

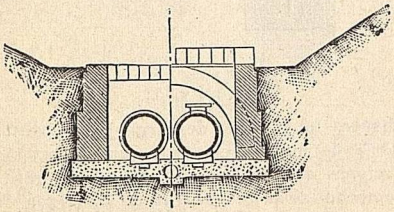
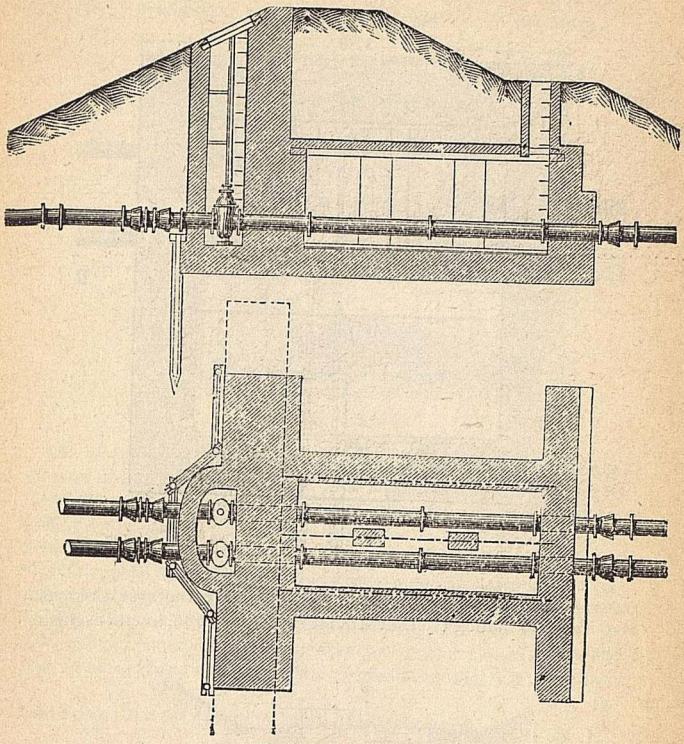


Fig. 150.

Cruce de ríos pequeños y arroyos.—Se hace mediante *presas*, que consisten sencillamente en un muro que atraviesa la corrien-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

te de agua y más alto que el fondo, produciendo una pequeña cascada (fig. 153). Como los ríos, arroyos y torrentes se hallan siempre en un punto bajo del terreno, donde convergen las dos ramas



Figs. 151 y 152.

del sifón, se dispone un pozo de descarga con aparatos á propósito. Aguas abajo del muro se construye un zampeado, para evitar las socavaciones que produciría debajo de la presa al caer el agua. Este zampeado se suele construir de hormigón, enlucido de cemento. Hoy se pueden emplear con gran éxito cestones y salchichones de alambre de hierro galvanizado revestidos de piedra, que, actuando como una escollera, quitan fuerza al agua y dan excelentes resultados.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Cuando la corriente de agua que se ha de atravesar es de alguna importancia, no basta una presa sencilla, y la obra adquiere más importancia, como se ve en la sección representada en la

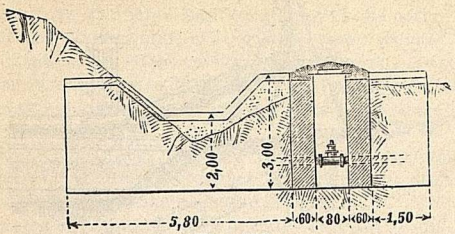


Fig. 153.

figura 154. La coronación de esta presa puede estar inclinada, como se representa en la figura; pero si fuese de gran altura, es más conveniente hacer el paramento escalonado ó formado por superficies curvas que favorezcan la caída del agua. El tubo ó

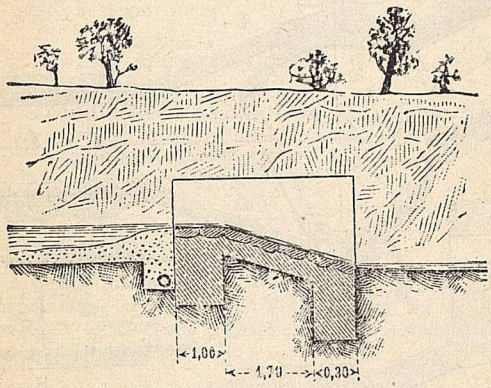


Fig. 154.

cañería se coloca siempre aguas arriba de la presa; algunas veces, sin embargo, es conveniente colocarlo dentro de la misma presa, en una especie de esclusa, y cubrirlo con losas de tapa, para poderlo visitar fácilmente.

En el caso de atravesar aguas tranquilas, se puede sumergir directamente la cañería, dejándola descender y adaptarse al fondo. Para ello (fig. 155) conviene construir un puente provisional de madera, montar sobre él la cañería y después dejarla descender con aparatos especiales. Si la cañería no ofrece la flexibilidad ne-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cesaria, hay que recurrir á juntas especiales articuladas, como la representada en la fig. 156, que es muy ingeniosa y se ha instalado con éxito en Roterdam.

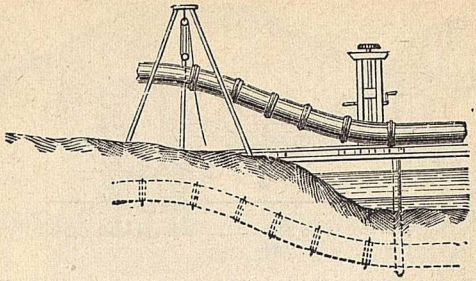


Fig. 155.

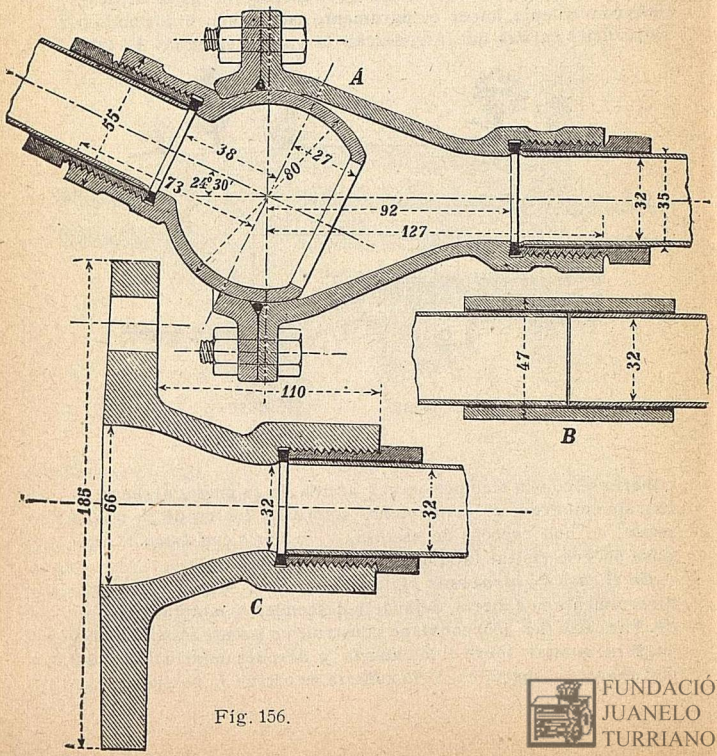


Fig. 156.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puentes-acueductos.—El medio más corriente para atravesar las corrientes de agua son los *puentes-acueductos,* de los que existen tipos variadísimos. En las conducciones á nivel libre, los puentes acueductos son puentes ordinarios de fábrica, en los que hay una galería ó un tubo longitudinal, por el que corre el agua. Las conducciones forzadas, si se colocan sobre puentes, no cambian las condiciones. Si los puentes son de fábrica, el tubo ó tubos se colocan en una especie de galería. En los puentes metálicos, los tubos se colocan en cajas longitudinales de madera ó al descubierto.

Los puentes metálicos más convenientes para acueductos son los *colgantes,* y de éstos preferibles los articulados, que no comunican sacudidas al sistema al llegar el agua.

Perdoni los ha estudiado en un trabajo especial; requieren sólo la precaución de establecer á lo largo de la cañería algunas juntas especiales de dilatación y alguna articulación si es necesario. La cañería puede colocarse sobre el tablero ó debajo.

Cuando el puente-acueducto tiene mucha longitud, conviene determinar el número de pilas con la fórmula del coste mínimo. Siendo y éste, se tiene:

$$y = \sqrt{M C p c D + N C p_1 c_1 D} - C;$$

siendo C = coste medio de una pila, D = longitud total del puente, p = carga total por metro lineal, p_1 = sobrecarga por metro lineal, c = coste unitario de la tensión, y se tiene:

$$c = \frac{p_0 v}{R} L;$$

siendo p_0 = valor de un centímetro cúbico del material de los cables en pesetas, v = valor de un kilogramo del material puesto en obra, R = coeficiente de seguridad por milímetro cúbico, L = longitud total de los cables. Para el acero:

$P_0 = 8$ kilogramos por decímetro cúbico, $v = 1{,}00$ ptas., $R = 20$,

se tiene·

$$c = 0{,}0008\ L.$$

c_1 = coste unitario de la compresión del tirante, resulta:

$$c_1 = \frac{P_0 v}{R} L.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los símbolos con los valores, como antes, pero referidos al tirante: R = carga de seguridad para la compresión. Para el hierro: $p_0 = 7.800$, ó sea 7,8 kilogramos por decímetro cúbico; $v = 0{,}60$ pesetas, $R = 6$ kilogramos, se tiene:

$$c_1 = 0{,}00078\ L.$$

M N, dos constantes que dependen de la relación $\frac{d}{f}$ de la cuerda á la flecha; así, para

$\frac{d}{f} = 7$	se tiene	$M =$ 4,03012012;	$N = 2{,}42660$
» $= 10$	»	» = 5,3851648;	» = 3,399333
» $= 12$	»	» = 6,3245553;	» = 4,055166
» $= 15$	»	» = 7,762090;	» = 5,044233
» $= 18$	»	» = 9,2195455;	» = 6,036933
» $= 20$	»	» = 10,1980390;	» = 6,699933
» $= 25$	»	» = 12,6589581;	» = 8,359966

Después de esto se deduce.

$$x = \frac{c + y}{2\,C}.$$

214. *Depósitos.*—Pueden clasificarse como sigue:

a) Respecto al objeto.

1.º *Depósitos de toma y reunión de los manantiales.*—Si el manantial es muy escaso en estiaje y abundante en invierno, estos depósitos sirven para almacenar el agua, recogiéndola en el gasto máximo y distribuyéndola en el de consumo medio. Conviene por esto colocarlos lo más próximos posible al manantial, y actúan como reguladores anuales de éste.

Se usan muy poco por el coste grande y tienen más aplicación en los riegos.

2.º *Depósitos compensadores.*—Cuando el manantial tiene un gasto inferior al consumo máximo diario, debe almacenarse el agua sobrante en los períodos de consumo mínimo ó nulo (las noches) y distribuirlo en cantidad suficiente durante el consumo máximo.

3.º *Depósitos compensadores por conveniencia.*—A veces, aunque el manantial dé el gasto máximo, puede convenir económicamente, en especial si la conducción exterior es muy larga, construir un depósito de reunión, situado al extremo de la cañería.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

4.° *Depósitos de reserva.*—Sirven para abastecer una población durante las reparaciones en la toma ó en la conducción.

5.° *Depósitos refrigerantes.*—Pueden servir para disminuir la temperatura del agua cuando se los construye en galería ó á gran profundidad.

b) Respecto á su posición, se clasifican en

6.° *Depósitos de origen.*—Se da este nombre á los depósitos colocados á lo largo de la cañería, aguas arriba de la red de distribución. La tubería de aguas arriba se calcula en función del gasto medio dado por el manantial, y el de aguas abajo para el consumo máximo; por consiguiente, estos depósitos deben situarse lo más próximos posible á la población.

7.° *Depósitos de extremo.*—Son los depósitos colocados aguas abajo de la distribución urbana. De noche el depósito se llena directamente con el manantial; de día abastece á la población, al mismo tiempo que el manantial. La cañería se calcula para el doble servicio de día y de noche.

c) Respecto á su estructura, se tiene:

8.° *Depósitos subterráneos.*—Cuando la altimetría lo permite, son preferibles, para aprovechar las ventajas de resguardar el agua de la acción del sol y utilizar la presión ó empuje del terreno contra las paredes del depósito. Generalmente se hacen de fábrica ó de cemento armado y cubiertos con bóvedas y una ligera capa de tierra. Análogamente puede decirse de los depósitos medio enterrados.

9.° *Depósitos en elevación.*—Se procura utilizar alguna construcción existente. Si esto no es posible, se hacen de fábrica, cemento armado ó palastro.

215. *Depósitos de reserva y compensación.*

Capacidad.—Si el depósito es de reserva, ha de contener el consumo máximo para tres ó más días que puedan durar las reparaciones eventuales.

Generalmente se supone que basta al consumo máximo de un día para los depósitos de fábrica, y menos, $\frac{1}{4} \div \frac{1}{2}$, para los metálicos.

Los depósitos de compensación requieren una capacidad igual á la mitad del consumo diario, ó, mejor, el gasto que se acumula en ellos durante las n horas de consumo nulo.

Suele ser $n = 6 \div 8$, y se tiene:

$$C = Q \times n \times 3600;$$

siendo Q el gasto del manantial. Supóngase m horas de consumo

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

máximo, con un gasto 2 Q, doble del de el manantial; en las $(24 - m - n)$ horas restantes de consumo medio, habrá disponible un gasto Q', dado por la relación

$$Q \times 24 \times 3600 = 2\,Q \times m \times 3600 + Q'\,(24 - m - n)\,3600.$$

Suele tomarse $m = n = 8$, lo que da $Q' = Q$. Casi siempre los depósitos son de compensación y reserva á la vez y sirven como reguladores para el consumo diario y como reserva para las reparaciones exteriores ó en los grandes incendios. Aun en este caso basta que la capacidad sea igual al consumo total en 24 horas.

Los depósitos de capacidades muy grandes deben evitarse, tanto por su gran coste como por lo expuesto á una contaminación del agua.

216. *Depósitos de fábrica.*

Forma del depósito.—La forma consagrada por razones prácticas y económicas es la rectangular, aunque, teóricamente, la cilíndrica sea la de capacidad mayor.

Un depósito de cierta importancia debe tener dos compartimientos, para evitar las interrupciones en casos de reparación. La relación más conveniente (en teoría) entre los lados de cada compartimiento, es $\frac{x}{y} = \frac{3}{4}$.

Profundidad.—Atendiendo á las condiciones higiénicas, debe reducirse á la menor la superficie del agua en contacto del aire, y, por consiguiente, aumentar la altura; pero esto requiere, para la estabilidad de los muros, mayor espesor y aumento de coste de la obra, además de que los muros están sometidos á mayores variaciones de presión. Prácticamente se admite como profundidad media $2 \div 4$ metros.

Circulación del agua.—Una prescripción higiénica de gran importancia es la circulación continua del agua, que evita el estancamiento de parte de ésta y su fácil contaminación ó desarrollo de microorganismos nocivos. El mejor sistema es obligar al agua á recorrer varios compartimientos moviéndose en zig-zag horizontal y verticalmente.

La figura 157 representa un tipo, dividido en dos partes, que pueden funcionar independientemente; cada una de ellas está subdividida en otras, por las que circula el agua, pasando de una á otra por aberturas practicadas en la parte baja y en la alta de los tabiques colocados diagonalmente; en caso de reparaciones, cada compartimiento puede quedar aislado de los demás. La toma de agua se hace simultáneamente en todos los compartimientos por

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

medio de tubos que afluyen al tubo único de toma; los desaguadores están colocados en cada compartimiento, y se unen á un solo tubo, en el que también vierten los aliviaderos, constituídos por tubos verticales con el extremo superior abocinado y alcanzando la altura necesaria.

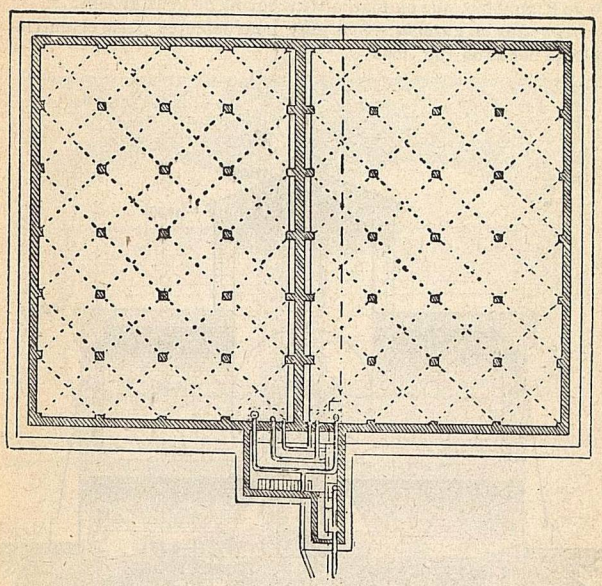


Fig. 157.

Cálculo de los muros de recinto.—Las condiciones de estabilidad han de referirse á la rotación ó vuelco, al deslizamiento y al aplastamiento.

Si el depósito es subterráneo ó en desmonte, la hipótesis más desfavorable es para el depósito vacío, porque pudiera haber entre el muro y la tierra una capa líquida que produjese presión hidrostática. Lo contrario ocurre cuando el depósito está elevado; de esto se deduce que los muros de los depósitos en desmonte deben tener el talud al interior del depósito, y al exterior en los en elevación.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La solera en los casos corrientes tiene un espesor s, dado por la fórmula

$$s = 0,25 \sqrt{2h}\ .$$

Depósitos de varios pisos.—La figura 158 representa el depósito de Fiumicino, que en planta tiene forma de cruz griega.

Depósitos en galería.—Son muy convenientes para el enfriamiento del agua (fig. 159).

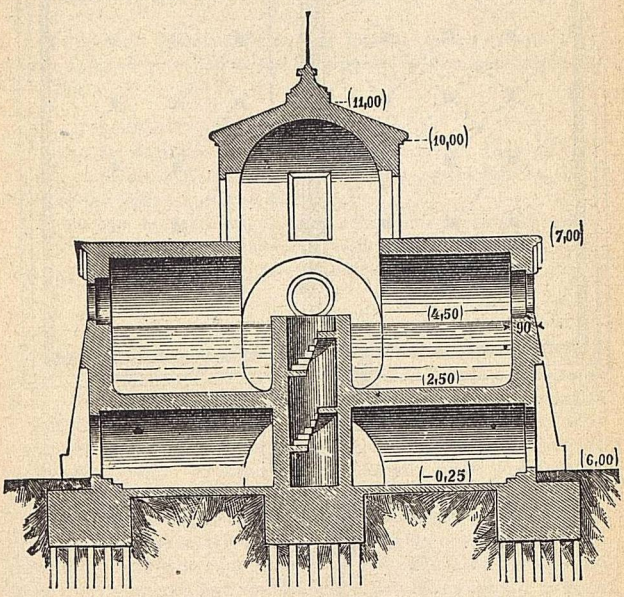


Fig. 158

Fachadas.—Deben ser sencillas y de líneas severas. La figura 160 representa la del depósito de Marino.

217. *Depósitos de cemento armado.*—En los depósitos en desmonte conviene la forma en herradura, y el vaso está constituído por la corona circular exterior; en él se disponen las cámaras de maniobras y depósito.

Si es elevado, se hace generalmente cilíndrico, apoyado sobre

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cuatro pilares. Esta forma es muy esbelta y económica; se emplea mucho en ferrocarriles. Conviene sólo para depósitos de capacidad reducida. Cuando han de ser grandes se sigue un sistema

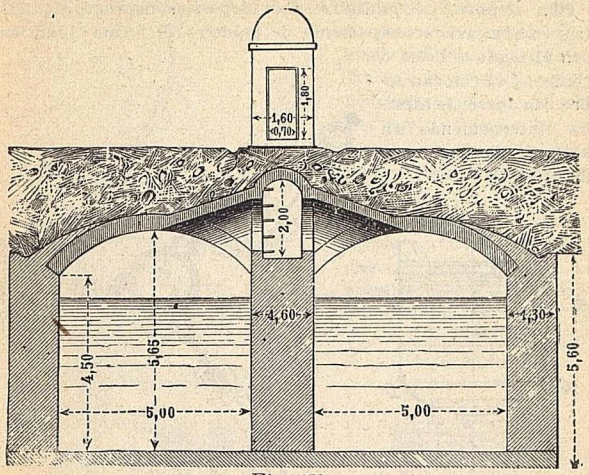


Fig. 159.

mixto, construyendo la torre, de forma poligonal, de fábrica y el vaso de cemento armado.

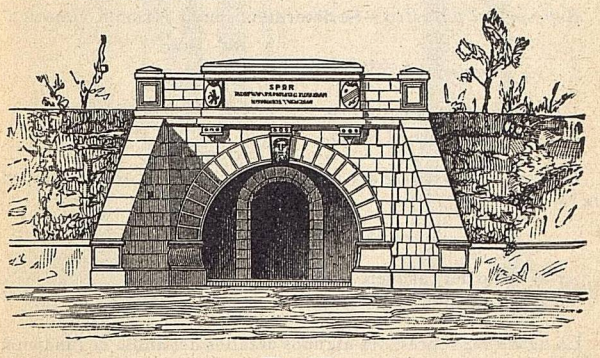


Fig. 160.

El vaso se construye con una armadura ó esqueleto metálico (de acero), envuelto por una capa de cemento de poco espesor, desti-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

nada á darle impermeabilidad y preservar al metal de la oxidación, porque la estructura metálica se calcula de modo que por sí sola resista á todos los esfuerzos.

218. *Depósitos de palastro.*—Los depósitos metálicos se construyen hoy casi exclusivamente de palastro, de forma cilíndrica, con el fondo esférico ó cónico, y se colocan sobre una torre de fábrica, interponiendo un anillo de hierro robusto (figura 161).

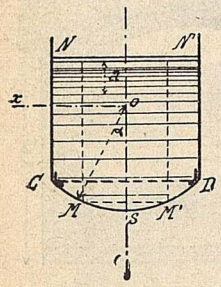


Fig. 161.

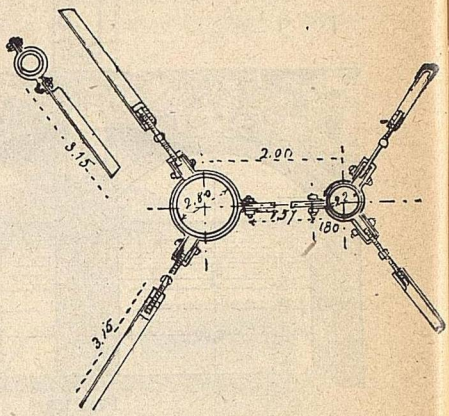


Fig. 162.

Espesor del palastro.—Se determina con la fórmula empírica:

$$s = 0{,}000166\, D\, H + 0{,}02\,;$$

D = diámetro del cilindro,
H = carga sobre el fondo.

Espesor del casquete del fondo.—Si es esférico se calcula con la fórmula empírica:

$$s = 0{,}000166\, r\, h + 0{,}0015,$$

r = radio del casquete esférico,
h = carga en el punto más bajo.

La figura 162 representa algunos detalles del anillo de fundición que sirve de apoyo al depósito.

En la figura 163 se representa el depósito de Colmar; la figura 164 ofrece un tipo más sencillo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

219. *Accesorios de los depósitos.— Temperatura, ventilación, alumbrado.*—Son accesorios en todos los depósitos las escalas y medios de acceso.

Para conservar la temperatura del agua casi constante deben revestirse las paredes, solera y cubierta de una substancia cohibente. Son muy buenas las cubiertas formadas por dos capas de cemento armado, conteniendo entre ellas la substancia cohibente.

Deben estar herméticamente cerradas, pues hoy parece demostrado que la ventilación no ejerce ninguna acción favorable, y más bien perjudica á la conservación del agua.

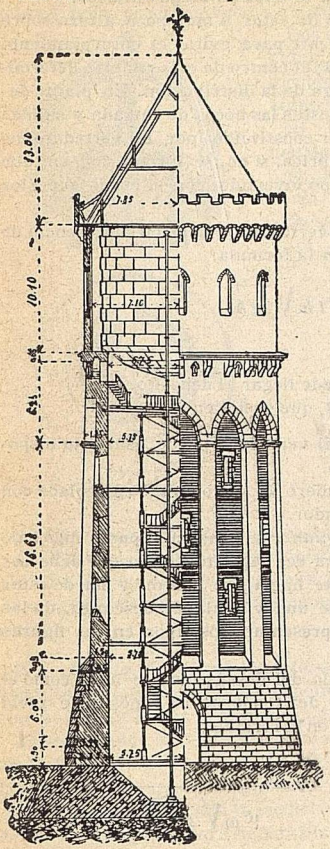


Fig. 163.

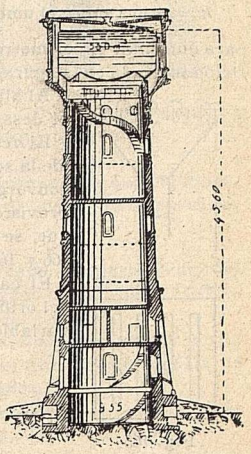


Fig. 164.

Menos justificada está la iluminación. Basta para la inspeccción cristales gruesos en las entradas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

220. *Tuberías y mecanismos.*—La *cañería de llegada* debe tener la boca de salida al nivel superior del nivel del depósito, fijado por el aliviadero de superficie, y señala con el centro de la sección de salida el extremo de la línea de carga exterior.

El *tubo de toma de agua* ha de estar á muy poca altura sobre el fondo del depósito, lo suficiente para evitar el enturbiamiento producido por el tiro de salida; el centro de esta cañería determina el origen de la línea de carga de la distribución. En planta deben estar diametralmente opuestas las bocas de entrada y salida.

Los *aliviaderos* suelen estar constituídos por un vertedero hecho en los muros, si son de fábrica; si no, se forman con un tubo vertical rematado por un cono invertido, con el borde superior á la altura debida.

La longitud del umbral del vertedero ó de la circunferencia de la boca del tubo se calcula con la fórmula:

$$Q = \mu\, l\, h \sqrt{2gh},$$

en la cual

$\mu = 0{,}40$,

Q = gasto máximo que puede llegar al depósito,

h = altura sobre el umbral, que se fija en $2 \div 5$ cm.;

para aumentar el perímetro del vertedero puede usarse la disposición indicada en la figura 165.

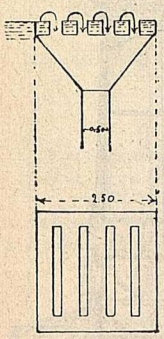


Fig. 165.

Al aliviadero va anejo un tubo de enlace con el desaguador.

El *desaguador* se pone en el punto más bajo de la solera del depósito (solera que debe ser convergente hacia ese punto) y ha de estar provisto de una válvula de descarga, de las que se representan dos tipos en las figuras 166 y 167.

El cálculo del desaguador se hace como el del orificio del fondo de un depósito de nivel variable, con la fórmula;

$$t = \frac{2S}{\mu\, \omega \sqrt{2gh}};$$

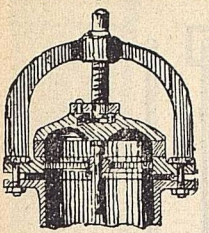
t = tiempo en que se quiere desaguar por completo el depósito, y que se fija en unas dos horas.

Las demás letras tienen la misma significación que en el número 69. (Véase.)

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El desaguador lleva anejo un tubo procedente del aliviadero de superficie.

Todas las bocas de entrada y salida deben estar provistas de sifones de cierre hidráulico para evitar toda causa de contaminación del agua, procedente del exterior.



Los demás aparatos, llaves, válvulas, etc., se disponen de modo que puedan efectuarse las operaciones siguientes:

a) Para desaguar la cañería sin mandar agua al depósito.

b) Para llevar el agua de la cañería directamente á la distribución sin pasar por el depósito.

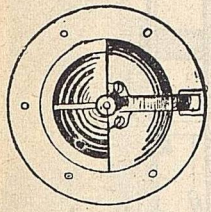


Fig. 166.

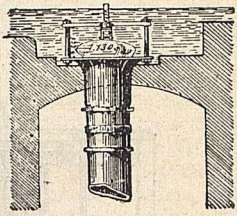


Fig. 167

c) Para desaguar total ó parcialmente el depósito.

d) Para interceptar la distribución.

e) Para tomar el agua lo mismo de la superficie que del fondo.

La figura 168 representa una cámara de maniobra aneja al depósito.

221. *Escala de altura y gasto.*—En cada compartimiento del depósito se coloca una escala graduada con un indicador al exterior para determinar la altura de agua del depósito.

El registrador Richad es un aparato automático, que por medio de un flotador fijo á una varilla vertical transmite la medida de las alturas á un aparato registrador gráfico.

Tiene más importancia la medición ordenada del gasto de agua hecho en el depósito para la distribución.

Con este objeto pueden utilizarse bien los aparatos Venturi, Woltman, etc.

222. *Cámaras ó depósitos de llegada.*—Cuando la cañería no tiene un depósito próximo á la población que ha de abastecer,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

conviene hacer llegar el agua á una cierta altura en una cámara, desde la que se distribuye por diversas derivaciones. Estas cámaras se disponen generalmente sobre una torre (fig. 169). Las cámaras deben servir para aforar el agua que llega, la que se distribu-

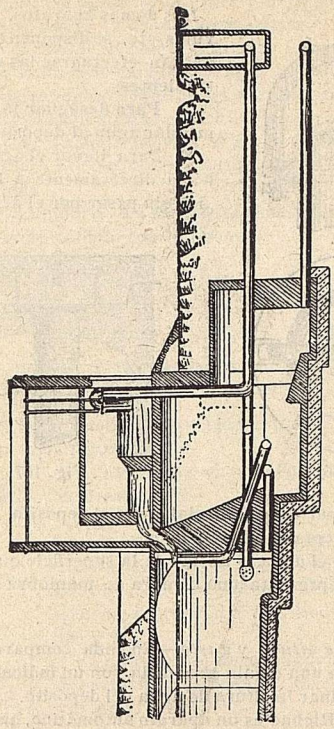


Fig. 168.

ye y la que sobra es un medio de observación y al mismo tiempo un regulador de presión.

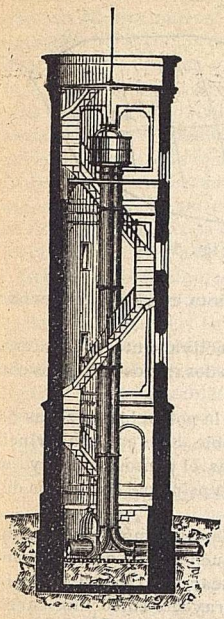
Distribución urbana.

223. *Problema general de la economía máxima.*—El problema general de la economía máxima en las redes de distribución, en términos generales, se presenta así:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Dado un cierto número de puntos alimentadores (manantiales, fuentes) y un cierto número de puntos abastecidos (casas, fuentes, etc.), buscar la red de unión más conveniente y fijar el diámetro de las cañerías para que el coste sea el menor.

El problema, en general, no parece posible pueda tratarse, por la gran indeterminación de los elementos y exigencias prácticas á que han de someterse, así que se tratan separadamente la elección del diámetro y el trazado de la red.



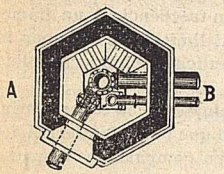


Fig. 169.

224. *Trazado más conveniente.*— Se tienen los siguientes criterios fundamentales:

a) A igualdad de las demás condiciones, el trazado más económico es el más corto. Esto lleva á colocar la cañería en la mediana de la zona de consumo uniforme, ó según una línea que divida la zona misma en razón inversa del consumo, si éste no fuese uniforme, y á que la distancia máxima, prácticamente compatible, sea de $20 \div 30$ metros entre las cañerías, de modo que se limite todo lo posible la longitud de la cañería.

b) La distribución con varios tubos de gastos parciales es más costosa que con un tubo único que dé el gasto integral. Este principio conduce á la adopción de una cañería principal, que lleva el caudal máximo, y una serie de cañerías secundarias y terciarias, que abastecen la zona más distante.

c) La cañería principal ha de tener una dirección normal á las curvas de nivel de la población, y las secundarias paralelas. Ninguna cañería, aunque sea de orden inferior, ha de tener trozo alguno ascendente.

Siguiendo este criterio se fija desde el principio la disposición general presumible de toda la red.

d) Dada una cañería secundaria que atraviesa la principal, el

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

punto de unión debe ser tal, que se tenga (véase núm. 120):

$$d = d_2,$$

ó sea

$$\frac{l_1 q_1^2}{y_1} = \frac{l_2 q_2^2}{y_2},$$

ó sencillamente

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{q_2^2}{q_1^2},$$

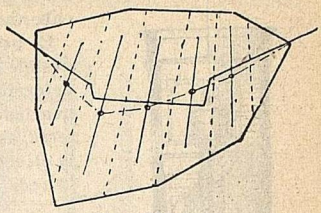


Fig. 170.

si la cañería secundaria tiene la misma cota extrema de servicio á derecha é izquierda.

Los símbolos d, l, q, y representan, respectivamente, el diámetro, longitud, gasto y pérdida de carga en los dos trozos indicados con los índices 1 y 2.

Empleando esas fórmulas y dividiendo la población en zonas de servicio normales á la dirección presumible de la cañería principal, puede fijarse para cada una de ellas el punto de paso y, en consecuencia todo el trazado de la cañería principal en función del consumo de derecha é izquierda.

e) En cada nudo conviene derivar cañerías comparables en importancia, para evitar el inconveniente que pudiera ocurrir cuando un ramal de gasto pequeño, al arrancar en el principio de la distribución, tuviese que anular en un trayecto corto una carga muy fuerte; esta conducción da lugar con frecuencia á un diámetro tan pequeño, que resulta inferior al límite impuesto por la práctica, con pérdida de la energía hidráulica que hubiera podido utilizarse en otro punto de la red.

Esta consideración sería contraria al empleo de la cañería principal y conduciría á un tipo teórico, en el que todas las derivaciones que arrancan de un mismo nudo fuesen comparables respecto al término $l\, q^{\frac{1}{3}}$.

En la práctica conviene adoptar la mayor parte de las veces un tipo de trazado intermedio que tenga en cuenta todos los criterios indicados, además de las exigencias de cada caso particular.

f) La cañería debe instalarse en todas las calles. A veces se omite (por razones de economía) alguna cañería secundaria, siempre que la distancia entre dos cañerías no exceda de 30 ÷ 40 me-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tros, para que las distribuciones domésticas no tengan una longitud mayor de 15 ÷ 20 metros.

g) Circulación continua.—Hoy se considera indispensable en una red de distribución, para que funcione bien, unir entre sí los extremos de todas las cañerías, de modo que en el perímetro formen un anillo cerrado y en el interior un conjunto de mallas, también cerrado. Este sistema permite en la red una distribución más equilibrada del agua, lo cual así puede corregirse cualquier error que hubiere habido en el cálculo de los diámetros; además permite efectuar las tomas en cualquier punto, aunque en algún trozo estuviese interrumpido por alguna reparación, y, por último, en puntos especiales puede hacerse haya un gran gasto, como se requiere en casos de incendios; en este caso toda la red funciona como un depósito de reserva.

Los tubos de unión que se agregan á la red calculada para obtener la circulación continua se hacen del menor diámetro prácticamente compatible; en general se suponen de fundición y de 0,04 metros, no sometiéndolos á cálculo. También es bueno tener en cada extremo de la red una válvula, que de ordinario se halla bien cerrada y deja establecer la circulación continua en caso de incendio ú otro análogo.

225. *Estudio de una red.*—Para el estudio práctico de una red de distribución, se procede como sigue:

I. Se procura, ante todo, reunir los datos necesarios, tanto los que puedan tomarse directamente, como los facilitados por los respectivos Municipios; estos datos serán precisamente:

a) Un plano acotado (ó con curvas de nivel, á la equidistancia de 20 ÷ 25 metros) de la población que se va á abastecer, con indicación de las cotas de las casas más altas que han de surtirse de agua.

b) Una relacion de la cantidad de agua que hay que distribuir uniformemente en toda la población ó la proporción en que ha de repartirse en las diversas zonas de la ciudad. Esta distribución puede hacerse con relación al número de habitantes, ó, más fácilmente, en razón de las superficies habitadas, suponiéndolas de igual densidad, al menos las de cada zona.

c) Una relación de los edificios especiales (escuelas, hospitales, mataderos, cuarteles, estaciones ferroviarias, etc.) y el gasto correspondiente que exigen.

d) Lista del número y situación de las fuentes, bocas de incendio, retretes públicos, urinarios y sus gastos respectivos.

En función de estas notas se fijará el gasto total que debe suministrar el manantial, y que, en el caso de una red con depósito, debe duplicarse para el cálculo de la cañería.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

II. Se elige, donde sea el caso, la posición del depósito de origen ó de extremo, según la altimetría de la población y de las demás razones dadas, y se fija la cota del fondo del depósito como origen de la red piezométrica de la población, de modo que, hecha la distribución, haya, por lo menos, dos metros de carga respecto á los puntos extremos de alimentación para atender á las distribuciones privadas.

III. Se fija el trazado más conveniente en función de los criterios expuestos en el número precedente, teniendo separadas, cuando sea el caso, las zonas de altimetría muy diferente y asegurando después la circulación continua con una serie de tubos de circuito.

IV. Se fijan los gastos de los diversos trozos, asignando á los destinados á servicios especiales como gastos de extremo en los tubos respectivos y distribuyendo el resto como gasto uniforme á todos los trozos correspondientes, atendiendo á los coeficientes de consumo.

Fijo el sentido en que ha de correr el agua en cada trozo, se asignará como gasto de extremo á cada tubo afluente á su nudo la suma de los gastos de los tubos que arrancan en el mismo nudo. Habrá, pues, tubos con sólo servicio de extremo, ó servicio uniforme, ó de servicio mixto.

Todos los gastos se reducirán á servicio de extremo con las fórmulas de los números 117 y 118,

$$q = \frac{q_1}{\sqrt{3}} \qquad \text{para el servicio uniforme,}$$

$$q = q_1 + 0{,}55\, q_2 \qquad \text{para el servicio mixto,}$$

y reunir los resultados en un cuadro así:

Indicación de los trozos	Longitud.	Superficie abastecida.	GASTOS			Gastos reducidos por el cálculo de servicio de extremo.
			Uniformes.	De extremo.	Mixtos.	
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

V. Se calculan los diámetros de la red entera, procurando satisfacer la ecuación de la máxima economía en los nudos ó por tanteos, ó siguiendo uno de los métodos que se exponen en el número siguiente.

226. *Cálculo de los diámetros.* (Véase el número 121.)

Primer caso. El problema de la máxima economía admite una solución exacta si se tiene en cada nudo un solo tubo afluente y otro derivado (núm. 121, fórmula 29 *a* y 29 *b*). Muchas veces se aplica este procedimiento, aun cuando el trazado se aproxime sólo á las condiciones dichas; es decir, que presente una arteria principal ó cañería maestra, de la que derivan otras secundarias, de que á su vez arrancan otras terciarias, etc.

Entonces se procede como sigue: Se desprecian todas las cañerías secundarias y se consideran en cada nudo de la principal un solo tubo afluente y otro derivado; las pérdidas de carga en los trozos sucesivos vendrán dadas por la fórmula

$$y_i - y_{i-1} = \frac{l_1 q_1^{\frac{1}{3}} (y_n - y_0)}{\Sigma \left(l q^{\frac{1}{3}} \right)},$$

siendo y_0 é y_n las cotas piezométricas conocidas del origen y extremo de la cañería, es decir, del fondo del depósito y del punto extremo alimentado.

De donde se deduce que la pérdida de carga, menos el factor $\frac{y_n - y_0}{\Sigma \left(l q^{\frac{1}{3}} \right)}$, que evidentemente es constante, son proporcionales á los términos l_1 y $q_1^{\frac{1}{3}}$.

Conocidas las pérdidas de carga, se calculan los diámetros con la fórmula·

$$y_i - y_{i-1} = \frac{k l_i q_i^2}{d_i^5}.$$

El mismo método puede aplicarse para las cañerías secundarias, despreciando las terciarias, y así sucesivamente.

Para cada una de ellas pueden formarse un cuadro análogo al siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Indicación de los trozos.	Longitud l	Gasto reducido. q	$l\,q^{\frac{1}{3}}$	Pérdida de carga. $y_i - y_{i-1}$	Cotas piezométricas.	Diámetro d	Coste $p.l.d$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Segundo caso.—Cuando todas las cotas y_f de alimentación extrema son iguales el problema de la máxima economía tiene una solución exacta. En efecto, si se considera uno de los nudos extremos de cota piezométrica y_α, debe tenerse:

$$\frac{d_\alpha^6}{q_\alpha^2} = \frac{d_1^6}{q_1^2} + \frac{d_2^6}{q_2^2} + \ldots..$$

ó sea:

$$\frac{l_\alpha^{6/5}\, q_\alpha^{2/5}}{\left(y_{\alpha+1} - y_\alpha\right)^{6/5}} = \frac{l_1^{6/5}\, q_1^{2/5}}{\left(y_\alpha - y_f\right)^{6/5}} + \frac{l_2^{6/5}\, q_2^{2/5}}{\left(y_\alpha - y_f\right)^{6/5}} + \ldots..$$

ó bien:

$$\frac{l_\alpha\, q_\alpha^{1/3}}{y_{\alpha+1} - y_\alpha} = \frac{\left\{ l_1^{6/5}\, q_1^{2/5} + l_2^{6/5}\, q_2^{2/5} + \ldots. \right\}^{5/6}}{y_\alpha - y_f};$$

de la que, componiendo y elevando á la potencia $^6/_5$, se tiene:

$$\frac{l_\alpha^{6/5}\, q_\alpha^{2/5}}{\left(y_{\alpha+1} - y_\alpha\right)^{6/5}} = \frac{\left\{ l_\alpha\, q_\alpha^{1/3} + \left(l_1^{6/5}\, q_1^{2/5} + l_2^{6/5}\, q_2^{2/5} + \ldots \right)^{5/6} \right\}^{6/5}}{\left(y_{\alpha+1} - y_\alpha\right)^{6/5}} =$$

$$= \frac{C_\alpha^{6/5}}{\left(y_{\alpha+1} - y_\alpha\right)^{6/5}}.$$

Pasando ahora al nudo inmediato aguas arriba del índice $\alpha + 1$, se razona como anteriormente, tomando el término $C_\alpha^{6/5}$ como

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

otro término $l^{6/5}\ q^{2/5}$, y en vez de un solo tubo, el conjunto de todos los tubos derivados de aquel nudo.

Así se llega al nudo de origen de cota y_0, para el cual se tendrá:

$$\frac{l_1^{6/5}\, q_1^{2/5}}{\left(y_0 - y_1\right)^{6/5}} = \frac{C_\alpha^{6/5} + C_\beta^{6/5} + \ldots\ldots}{\left(y_1 - y_f\right)^{6/5}};$$

en que la única incógnita es y_1, que puede determinarse.

Entonces se procede en sentido inverso para las sucesivas relaciones halladas de la fórmula genérica:

$$\frac{l_i^{6/5}\, q_i^{2/5}}{\left(y_{i+1} + y_i\right)^{6/5}} = \frac{l_{i+1}^{6/5} + q_{i+1}^{2/5} + \ldots\, C_\alpha^{6/5} + C_\beta^{6/5}}{\left(v_i - y_f\right)^{6/5}}$$

Se determinan fácilmente todas las cotas piezométricas y luego todos los diámetros. El procedimiento, al parecer muy complicado, resulta muy expedito en la práctica, y más usando ábacos gráficos para la resolución de las fórmulas y teniendo cuidado de llevar bien ordenadas las operaciones.

Tercer caso. Si las cotas piezométricas extremas son diferentes, puede aplicarse con aproximación el método precedente.

En uno de los nudos extremos, se tendrá:

$$\frac{l_\alpha^{6/5}\, q_\alpha^{2/5}}{\left(y_{\alpha+1} - y_\alpha\right)^{6/5}} = \frac{l_1^{6/5}\, q_1^{2/5}}{\left(y_\alpha - y_1\right)^{6/5}} + \frac{l_2^{6/5}\, q_2^{2/5}}{\left(y_\alpha - y_2\right)^{6/5}} + \frac{l_3^{6/5}\, q_3^{2/5}}{\left(y_\alpha - y_3\right)^{6/5}} + \ldots.$$

Si el índice 1 corresponde al trozo más influente por la longitud y gasto, puede ponerse:

$$\frac{l_\alpha^{6/5}\, q_\alpha^{2/5}}{\left(q_{\alpha+1} - y_\alpha\right)^{6/5}} = \frac{l_1^{6/5}\, q_1^{2/5} + m\, l_2^{6/5}\, q_2^{2/5} + n\, l_3^{6/5}\, q_3^{2/5} + \ldots\ldots}{\left(y_\alpha - y_1\right)^{6/5}}$$

en la que

$$m = \left(\frac{y_\alpha - y_1}{y_\alpha - y_2}\right)^{6/5} \qquad n = \left(\frac{y_\alpha - y_1}{y_\alpha - y_3}\right)^{6/5} \ldots\ldots$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La determinación de m y n puede hacerse por aproximaciones sucesivas, fijando *a priori* los valores de y_α en función de un primer cálculo de máxima economía hecho por el método relativo al caso primero.

Supuesto eso, el problema se reduce al del caso precedente.

Hay que tener presente que el método expuesto ahora (segundo y tercer casos) no se presta al cálculo de redes cerradas, porque en cada nudo debe haber un solo tubo afluente y varios derivados, ó un solo derivado y varios afluentes. Esto no sucede en la práctica, mientras que, como se ha dicho antes, las cañerías de cierre de la red se aplican sólo cuando está terminado el cálculo.

El orden de las operaciones con este procedimiento se indica en los cuadros siguientes. El primero se llena procediendo de arriba á abajo, y el segundo, al contrario.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CUADRO A

Nudo.	Fórmula.	Trozo	Longitud l metros.	Gasto q litros.	A		B	D		$(B + D^{6/5}$
					$l^{6/5}\, q^{2/5}$	$C^{6/5}$	$\Sigma\, A^{5/6}$	$l\, q^{1/3}$	C	

CUADRO B

Nudo.	Fórmula.	COTA PIEZOMÉTRICA		Pérdida de carga. $y_i - y_{i-1}$	Diámetro d	Coste $p\, l\, d$	OBSERVACIONES
		Extremo del tramo.	y				

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

VI. La determinación del coste puede hacerse valiéndose de la fórmula $\int = p\ l\ d$, como indican los cuadros; p es un coeficiente, cuyos valores para un avance de máximo son:

Para tubos de fundición.....	$p = 100 \div 110$
» » cemento.....	$p = 25 \div 35$
» » cemento armado.....	$p = 40 \div 50$

227. *Distribución urbana.*—La red de distribución urbana se hace casi exclusivamente con tubos de fundición, que se prestan muy bien para hacer las tomas privadas y resistir los golpes de ariete. Los tubos se colocan á la profundidad de unos dos metros, y generalmente á un lado de la calle. Algunas veces se ponen en la canalización del alcantarillado; pero no es conveniente y deben proscribirse, pues puede haber alguna contaminación.

En la distribución interior y exterior deben instalarse desaguadores y aliviaderos en los puntos más bajos ó más altos del perfil.

228. *Tomas de agua.*—Las tomas de agua para derivaciones secundarias ó privadas pueden hacerse en seco ó en carga. Este último sistema es el que más se usa, por la ventaja de poder hacer la derivación sin suspender el funcionamiento de la conducción.

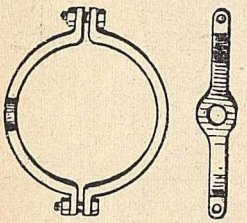


Fig. 171.

Toma en seco.—Se deja en seco la cañería y se practica un taladro en el punto donde ha de fijarse la acometida, y luego se coloca un collar (figura 171) que lleva ya el tubo de hierro ó plomo para la derivación, que se fija, sujetándolo luego con el collar.

Toma en carga.—Por medio de un trépano, y pasando por el hueco que deja el collar, se practica un orificio en el tubo y á él

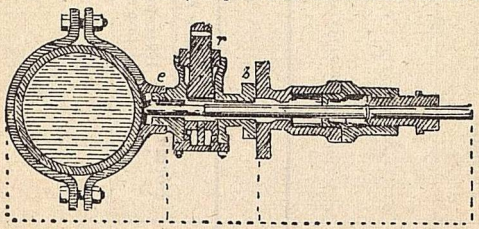


Fig. 172.

se aplica la llave de toma, á la que se empalma la cañería. La figura 172 representa una llave de toma lateral, montada sobre el

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

collar. La llave se mueve desde la parte superior por medio de otra llave portátil; la primera está resguardada por un tubo y una tapa. Las llaves de detención se colocan á lo largo de la cañería para impedir ó permitir el curso del agua; son de presión y se mueven por un pequeño volante é interiormente cierran, comprimiendo una pieza guarnecida, contra un orificio.

229. *Tuberías de hierro.*—En las distribuciones de agua se prefieren los tubos de hierro para las cañerías ascendentes y los de plomo para las descendentes. Las cañerías de hierro laminado ó forjado se colocan enterradas en los suelos y muros ó sujetas con simples grapas de hierro. Las uniones son siempre de rosca; un extremo del tubo lleva el tornillo, y el otro una especie de manguito con la tuerca.

Para cortar los tubos se emplea una herramienta especial llamada *corta-tubos,* que oprime el tubo contra una pequeña rueda cortante de acero; girando este instrumento queda el tubo cortado exactamente por donde se desea.

En las curvas muchas veces puede encorvarse el tubo; además se usan tipos variados de piezas especiales, es decir, manguitos con dos tuercas, de tuerca y tornillo, de dos tornillos, piezas en T, en cruz, injertos, etc., etc., para todos los casos que puedan ocurrir. En las uniones á tornillo conviene cubrir los tornillos con una pasta consistente de minio y aceite cocido, bien con minio y sebo; al tubo se le hace girar con una tenaza especial adecuada al diámetro del tubo.

Tabla XLVIII.—Tubos de hierro con manguitos de rosca.

Diámetro interior en pulgadas..	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4
» » en mm.....	10	13	20	25	32
» exterior »	17	21	27	33	42
Peso por m. l..... kg.	0,900	1,200	1,800	2,500	4,000

230. *Tuberías de plomo.*—Las tuberías de plomo empleadas en las cañerías descendentes son más flexibles y se manejan mejor que las de hierro, no requiriendo tantas piezas especiales.

Las uniones de los tubos de plomo se hacen por soldadura. Se alarga uno de los extremos por medio del alargatubos, se introduce en él un extremo de otro tubo, ambos bien limpios y mojados con sulfato ácido de zinc, y cubiertos de pez griega en polvo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Con una lámpara de soldar se calienta el tubo y se funde el estaño que lleva adosado. También pueden hacerse con soldadores.

Practicando un agujero en el tubo de plomo, se construyen las piezas en T.

Para los codos se doblan los tubos de plomo con gran facilidad.

Tabla XLIX.—Tubos de plomo.

Diámetro interior en mm.....	10	12	15	20	25	30
» » » »	15	18	21	26	31	36
Peso por m. l. ..... kg.	1,150	1,650	2,000	2,500	3,100	3,600

231. *Sistemas de distribución privada.*—En la distribución se siguen varios sistemas; los más importantes, son: *á caño libre, por volumen fijo, por contadores.*

El primer sistema debe proscribirse.

Sistema por volumen fijo.—Para el segundo hay que disponer una llave ó grifo que no deje pasar más de una cierta cantidad de agua al día.

Hay muchos tipos de grifos de medida. El mejor es el repre-

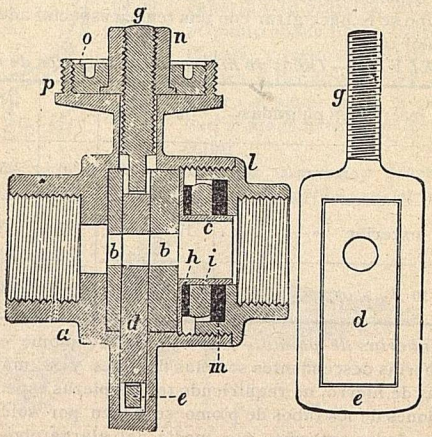


Fig. 173.

sentado en la figura 173; *b* son dos placas de cristal, provistas de un orificio; *d* es la compuerta ó llave que se mueve, coincidiendo

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

más ó menos con los orificios de las placas contiguas; *o n* corresponde con la llave empleada en la maniobra; *p*, tornillo que sirve para sujetar la tapa. Hay también llaves de éstas de *orificio libre;* otras se colocan á lo largo de la cañería de toma.

Este sistema tiene los inconvenientes siguientes:

a) El agua se caldea mucho en los depósitos.

b) El agua en el depósito recibe polvo y materias orgánicas, con grave perjuicio de la higiene.

c) Durante la noche ó en ciertas estaciones, en que muchos inquilinos se ausentan, corre por el desaguador inútilmente una gran cantidad de agua, mientras que durante el día y en las épocas de mayor consumo es insuficiente la cantidad de agua para las necesidades de los usuarios.

Sistema con contador.—Este sistema elimina los inconvenientes citados; pero ocasiona una distribución más irregular del agua en la red urbana y da lugar á consumos inútiles de agua por dejar abiertos los grifos para obtener agua fresca.

La *llave reguladora de aire comprimido* de Tua evita los inconvenientes precedentes é impide á los usuarios gastar agua inútilmente (fig. 174).

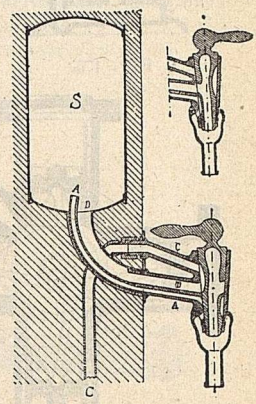


Fig. 174.

Consiste en una llave de doble efecto, por medio de la cual el agua de la cañería *C* no puede utilizarse por el usuario más que después de haber llenado el depósito *S* por medio del conducto *D;* la capacidad de *S* es de $2 \div 10$ litros, de modo que limita el consumo á intervalos establecidos de tiempo. El recipiente está herméticamente cerrado y el aire es comprimido al llegar el agua, evitando los golpes de ariete; la renovación del aire se hace por el tubo *A*, regulado por el mismo grifo.

232. *Depósitos domésticos.*—Su empleo tiende á desaparecer, según se ha dicho, por razones de higiene. Pueden admitirse donde la distribución no parte de un depósito, y hay que buscar la compensación entre el consumo de día y el de noche.

De todos modos, deben estar revestidos interiormente de zinc, para poderlos limpiar cuidadosamente muy á menudo. La capacidad varía de $1 \div 2$ m³; la admisión del agua será por la parte superior y la toma por la inferior, y provistos de aliviadero de su-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

perficie y desaguador; la entrada conviene esté regulada por un flotador.

233. *Contadores.* -La elección de un contador es de suma importancia en las distribuciones grandes, se usan varios tipos para comparar bien sus ventajas é inconvenientes.

Son instrumentos que sirven para medir la cantidad de agua

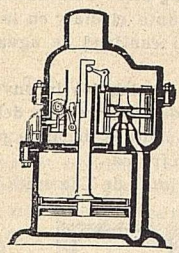


Fig. 175.

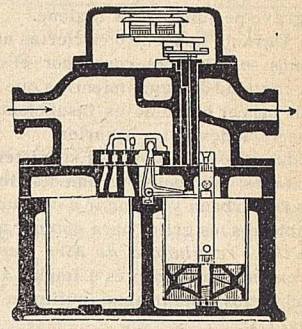


Fig. 176.

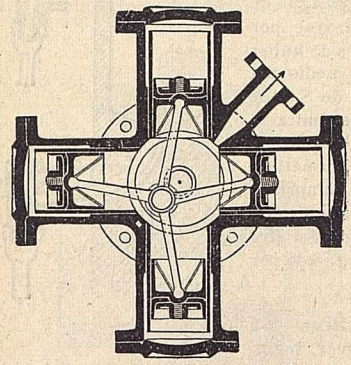


Fig. 177.

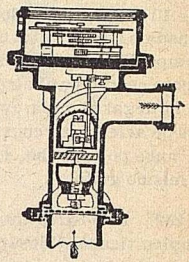


Fig. 178.

que pasa por ellos. Algunos modelos grandes, como los de Deacon y Meinecke, sirven principalmente para advertir las pérdidas á lo largo de las cañerías. Los usados en la distribución urbana se dividen en dos grandes clases: Primera, *contadores de émbolo*, de los que los principales son los tipos Kennedy, Frager, Frots

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

(figura 175), Taylor (fig. 176), Bonna (fig. 177), Schreiber, Samain, Débénoi, Jacquet, Desplechin-Mathelin-Demert y Linde, Pichering, Gould, Roux, Girt, Langlois, Becker, Koerber. Segunda, *contadores de rueda*. Los principales tipos son: Faller, Siemens, Taylor, Adamson, Witt (fig. 178), Everett, Dreyer, Rosenkranz y Droop, (fig. 179), Leopolder, Kröger, Germuts, Michel, Ducrenne, Wolf, Bonnefond, Valentín.

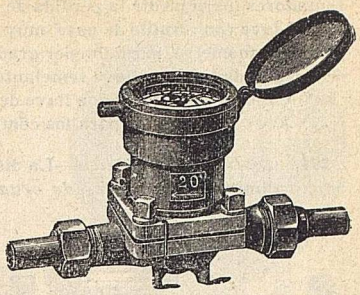


Fig. 179

A las dos clases indicadas podría sustituir otra clasificación, pues hay muchos contadores de *discos, válvula, caja, péndulo*, etcétera. Entre ellos, los más notables son los de Oury, Crowen, Thomson Schmid, Nasch, que tiene la ventaja de ser el de más fácil instalación.

La figura 180 representa el tipo de contador Venturi.

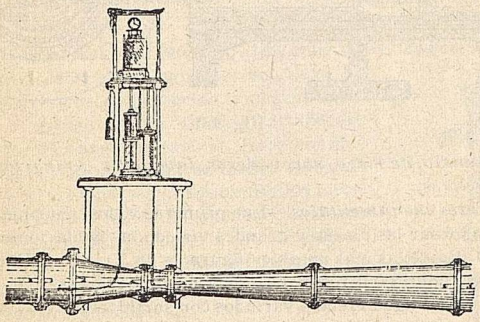


Fig. 180.

El contador Woltman (fig. 181) es una aplicación del molinete de Woltman, y en la práctica, para gastos grandes, da magníficos resultados.

Ensayo y prueba de los contadores.—La comprobación de los contadores se hace en una instalación que contenga.

a) Depósito de capacidad conocida (200 litros para ensayar un solo contador; 500 si se ensayan 10 contadores en serie). Cada depósito tiene un indicador de nivel, graduado por litros.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

b) Dos manómetros de $\frac{1}{4}$ de atmósfera antes y después de los contadores, para medir la pérdida de carga.

c) Llave con tornillo de paso muy pequeño, aguas arriba del primer manómetro, para obtener gradualmente gastos limitados de sensibilidad, y otra llave semejante después de la salida.

d) Cañería de llegada, con llave de cierre y tubo de desagüe.

e) Apoyos especiales para los contadores que se ensayan.

234. *Distribución pública.*—La distribución pública tiene por objeto alimentar las *fuentes de ornato y de vecindad*, las *bocas*

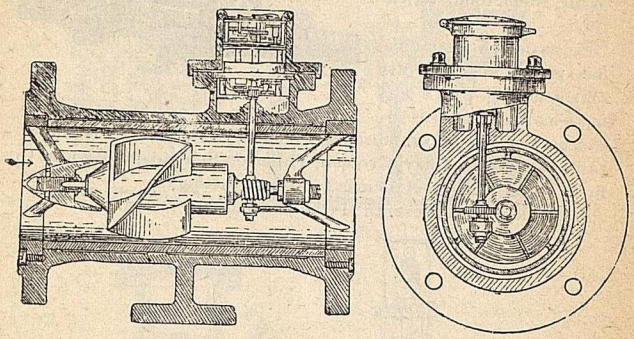


Fig. 181.

de incendio, de riego, abrevaderos, lavaderos, urinarios, letrinas, relojes.

Fuentes monumentales.—Las primeras tienen por objeto principal adornar las plazas y grandes vías de las poblaciones importantes. Entre las más notables figura la de Trebi, en Roma, que consume unos 500 litros por 1" (1). En estas fuentes se debe procurar dar al agua efectos variados con surtidores rectos, verticales, parabólicos, cascadas, capas de agua, etc. Los surtidores se disponen reunidos, convergentes, divergentes, helicoidales, cruzados, etc.

Entre las fuentes ornamentales figuran hoy las luminosas.

Altura á que se eleva un surtidor.—(Véase núm. 114.)

Fuentes de vecindad.—Se distinguen en *continuas* é *intermitentes*. Las primeras constan de un tubo de toma á presión, que se

(1) En España son notables, entre otras, las de la Granja.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

une al grifo de aforo para graduar el chorro. Existen muchos tipos.

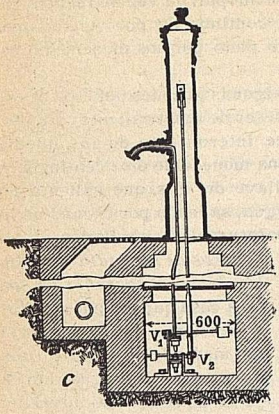


Fig. 182.

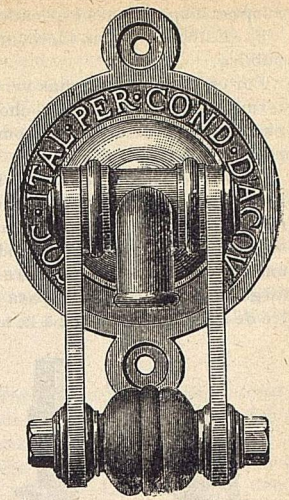


Fig. 183.

Las fuentes intermitentes (fig. 182) constan de más elementos. La intermitencia se consigue por una llave *V*, que se representa en la sección, y se abre oprimiendo el mango que se ve en el alzado. Al abandonar el mango, la llave se cierra por medio de un resorte. Otro tipo de fuente intermitente se representa en la figura 183. La llave cuelga del caño y sirve de adorno; cuando se la alza sale el agua, y al dejarla cae por su propio peso é interrumpe la salida del agua.

La figura 184 representa la fuente tipo Bapp y Reuther de Monheim.

Las fuentes intermitentes representan el tipo ideal respecto á la economía para el consumo público; pero ofrecen inconvenientes, entre los cuales figuran:

a) Golpes fuertes de ariete en la cañería. Se evitan parcialmente con cámaras de aire.

b) Dificultad para elegir un tipo de llave intermitente que sea de maniobra sencilla y no se descomponga con facilidad.

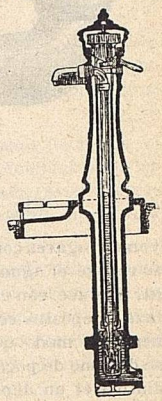


Fig. 184.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

c) Facilidad de helarse el agua durante el invierno, á pesar de adoptar disposiciones especiales.

d) Estropearse con facilidad por la malevolencia de parte del público.

Por estas causas muchas veces se adopta, en vez de fuentes intermitentes, una fuente de chorro continuo de poco gasto, que puede aumentarse en un momento dado por un mecanismo especial.

Fuentes de agua caliente.—En algunas grandes poblaciones se han hecho instalaciones para abastecer de agua caliente. En París se ha adoptado un tipo de fuente intermitente de gas, que ha obtenido un gran éxito. Poniendo una moneda de diez céntimos en una abertura especial, se abre la llave del gas, que calienta un largo serpentín por donde pasa el agua, saliendo por el caño un litro de agua caliente, casi á la temperatura de la ebullición.

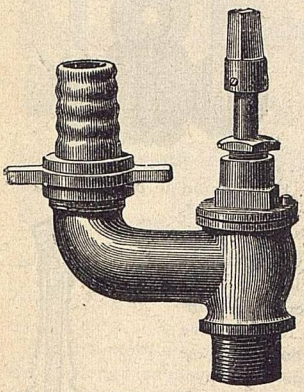


Fig. 185.

Bocas de incendio (fig. 185). Las bocas de incendio no son otra cosa que grandes grifos á presión, que se manejan por medio de un volante ó una llave portátil. Se guardan en cajas especiales al nivel del suelo. Otras veces, en vez de tener la disposición corriente en los grifos á presión, se cierran por medio de una esfera, que por la presión del agua se adhiere como una válvula á la boca de salida. Estas bocas sirven también para el riego y limpieza de las calles, usando mangas con lanzas especiales.

Abrevaderos.—Se construyen en lugares convenientes, y consisten en un depósito, en el que se recoge el agua para que beban los animales. Generalmente se los produce con el agua sobrante de alguna fuente próxima. La taza ó depósito consta de un solo compartimiento, y debe disponerse de modo que los animales no puedan ensuciarlo. Cuando se dispone de poca agua para un abrevadero, se construye inmediato á él un depósito para almacenar agua durante la noche y las horas de poco consumo; entonces se coloca una llave ó grifo con flotador, para que caiga del depósito al abrevadero un volumen de agua igual al consumido por el ganado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Lavaderos.—Son depósitos que sirven para el lavado de la ropa; se dividen en varios compartimientos, para los diversos lavados que han de sufrir las ropas. Se alimentan con aguas limpias. Pueden construirse al aire libre ó bajo cubiertas especiales; el antepecho ha de estar inclinado hacia el interior, y hecho de piedras lisas para el frotado de las ropas. También pueden ser intermitentes y de chorro continuo. Deben poderse desaguar fácilmente.

Urinarios.—Se alimentan con un chorro en *sábana ó cortina*, consumiendo unos 1.000 litros al día.

Letrinas ó retretes públicos.—Requieren la construcción de un depósito.

Relojes hidráulicos.—No se aplican aún en gran escala; los de balanza hidráulica requieren un suministro de agua intermitente y automático. Los de noria (tipo Perdoni) ocultan todo el mecanismo en una caja de 1,20 metros de alto, y consumen unos 500 litros al día.

235. *Abastecimiento de los edificios públicos.—Bibliotecas, archivos, almacenes.*—La distribución de agua en estos edificios debe consistir principalmente en una buena disposición de las bocas de incendio, de modo que se haga lo más fácil y rápido posible el servicio de extinción en caso de incendio. La distribución debe extenderse á las habitaciones de los vigilantes y del personal destinado al servicio del edificio. Siempre es oportuno colocar un depósito muy elevado.

Aduanas.—En las aduanas, especialmente en los espacios destinados al almacenaje de mercancías, debe adoptarse el mismo criterio, salvo extender estos servicios á los lugares dedicados al público y cuerpo de guardia.

Mataderos.—Es difícil indicar criterio fijo; basta decir que la distribución ha de ser tal, que suministre agua abundante en las diversas dependencias, depósitos elevados y numerosos, sin excluir las mangas para el lavado de reses muertas, paredes y suelos.

Hoteles, cafés, restaurants, cervecerías.—La distribución ha de hacerse de modo que pueda utilizarse por todos los concurrentes, abundantes en los retretes, de cortina continua en los urinarios. En los jardines y terrazas deben disponerse fuentes de adorno y bocas de riego, así como en los pasajes. Se cuidará de poner una buena instalación de bocas de incendio.

Bolsas, institutos de crédito, salas de contratación.—El servicio de agua ha de ser para riegos, lavados é incendios. En los grandes edificios, algunas fuentes. Hay que advertir que en algu-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

nos casos conviene una cortina de agua que facilite la ventilación por medio de aparatos especiales.

Establecimientos industriales.—El servicio de agua será mayor ó menor, según la industria; siempre debe disponerse un depósito á altura conveniente para el servicio de incendios. Fuentes para agua potable y lavado, bocas de riego.

Teatros, exposiciones.—No bastan numerosas bocas de incendio y amplios depósitos. Además es preciso una amplia distribución de agua en todas las dependencias y con gran facilidad en las tomas. Cuando sea posible, conviene establecer un sistema eléctrico para las maniobras de las bocas de incendio. En las Exposiciones, además de un buen servicio de incendios para cada edificio, son necesarias grandes fuentes ornamentales, luminosas, cascadas, arroyos, lagos, etc., etc.

Palacios de Justicia.—En los Palacios de Justicia, distribución abundante, con bocas de incendio y riego en las partes destinadas al público; distribución especial en el cuerpo de guardia, en las salas de jurados, testigos, etc., etc.

Baños públicos y hospitales.—En estos edificios son necesarias tomas abundantes de agua, diversos depósitos elevados, abundancia de agua en los retretes, servicios especiales para las cocinas, etc. Depósitos elevados, con cañerías descendentes al punto más bajo, pasando por entre algunos refrigerantes y volviendo á los cuartos de duchas para tener alta presión y baja temperatura. En los cuartos de duchas, además de los surtidores para las duchas ordinarias en lluvia, se disponen los aparatos para duchas locales. Tomas muy numerosas, ventiladores hidráulicos, filtros.

Si no se dispone de buen agua potable, son indispensables aparatos para esterilizar el agua.

Además, se atenderán las exigencias especiales de la cirugía, etc., según las enfermedades curadas.

Tanto en los baños como en los jardines y plazoletas de los hospitales, se pueden disponer distribuciones de agua caliente.

Escuelas, colegios, conventos, asilos, hospicios.—En Alemania se ha adoptado en muchos lugares el sistema de baños en las escuelas, así un baño de aseo impuesto á los alumnos suple la falta de policía de éstos.

Además de esto, las distribuciones en las escuelas se limitan á las aguas potables para el aseo y riegos. Limpieza continua en los retretes, y lo mismo en todas las dependencias, sin omitir el servicio de incendios.

Todo lo expuesto para las escuelas es extensivo á los colegios, conventos, asilos, etc., teniendo además en cuenta el servicio de los dormitorios, lavaderos, etc.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Cuarteles y cárceles.—En estos edificios hay que tener en cuenta el servicio de incendios y el consumo ordinario; los lavados continuos de los retretes y las tomas de agua deben estar regulados para evitar el mal uso y los golpes de ariete en las cañerías, de todos modos, el agua debe ser abundante.

Cuadras públicas.—Son necesarios el lavado continuo de los suelos y de las fosas; los comederos deben constar de dos partes: una para el pienso y otra para que sirva de abrevadero.

236. *Distribución en los edificios privados.*—La distribución en los edificios privados tiene exigencias especiales y se hace con

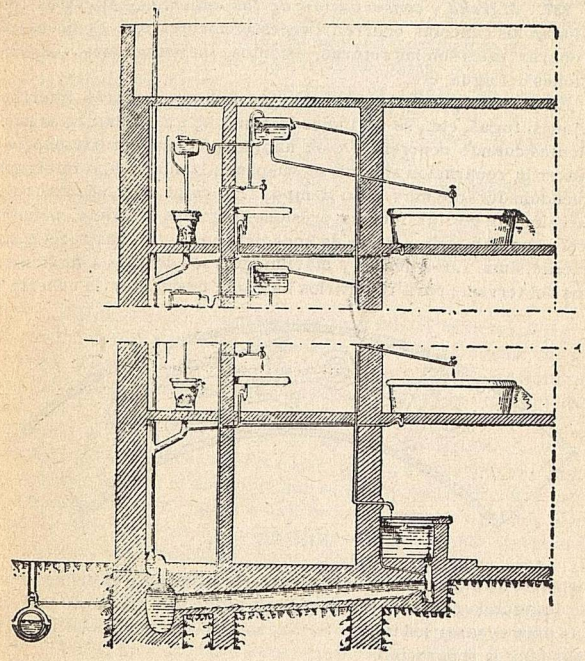


Fig. 186.

más economía de agua. El modo de proveer de agua, si existe contador, se hace partiendo de éste el tubo de toma y establecer después las derivaciones á todas las llaves y grifos; si no hay contador, sino grifos de aforo, se hace verter la cañería en un depósito

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

elevado, desde el que se deriva á las cocinas, baños, retretes, etcétera, etc.

En las casas de campo, además de las circunstancias indicadas, hay que tener presentes las cuadras, donde es de gran resultado enviar el agua á los comederos abrevaderos. Los heniles y pajares necesitan bocas de incendio bien dispuestas. Cuando es posible y necesario se instalan cañerías para agua caliente y fría, sobre todo para los baños. La figura 186 representa una disposición de distribución general.

237. *Marcha y conservación de las cañerías.*—Mientras funcionan las cañerías ocurren á veces accidentes que es necesario reparar: tales son las roturas, asientos, incrustaciones, congelaciones del agua, etc.

En párrafos, precedentes, al tratar de los contadores, interrupciones, fugas, etc., se ha indicado cómo se averiguan estos accidentes cuando ocurren. De la habilidad de un operario depende hacer la reparación sin que se suspenda la marcha, ó interrumpiéndola durante muy poco tiempo. Las roturas se producen generalmente por las fuertes presiones ó golpes de ariete; muchas veces no hay otra manera de impedirlo que una construcción esmeradísima. Los asientos y movimientos son debidos á movimientos del terreno; para repararlos hay que desmontar la cañería y

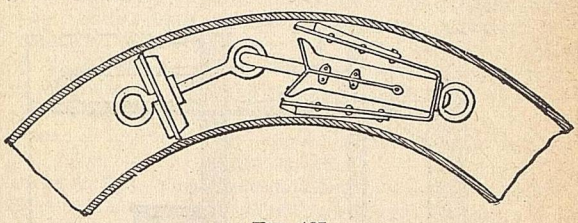


Fig. 187.

armarla de nuevo, ó elevarla y moverla entera. En el primer caso se desagua la cañería, y con lumbre se funde el plomo de las juntas para separar los tubos. Si las juntas están hechas en frío, es más fácil la separación.

Las incrustaciones pueden ser calizas ó silíceas. Unas y otras se raspan con cepillos metálicos y aparatos especiales. La figura 187 representa una raedera para las curvas y codos. Se la mueve tirando de una cadena ó por medio del aire comprimido. En los trozos rectos se disponen dos ó tres en una cadena, y á veces tienen forma estrellada. En los sitios donde por la calidad de las

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

aguas hay la seguridad de que se produzcan incrustaciones, conviene dejar las aberturas necesarias para introducir las raederas, así como los pozos de acceso precisos. Las causas de las incrustaciones se pueden prevenir; las calizas dependen de la temperatura y del contacto del aire; se previenen evitando las temperaturas elevadas y las corrientes á *medio caño*. Las silíceas ó tubérculos ferruginosos se evitan proscribiendo las aguas que contengan sílice gelatinosa ó empleando tubos esmaltados ó vidriados interiormente.

Los tubos de plomo se rompen muchas veces con las heladas. Este inconveniente lo presentan también los de hierro y cobre cuando están expuestos al frío. El agua en movimiento no se hiela, salvo á temperaturas extremadamente bajas; sólo lo hace el agua tranquila. El sistema ó disposición de Lanza con depósitos á presión es contrario á la congelación; son muy útiles los revestimientos de lana, paja ó madera, así como el tener el agua en movimiento, abriendo parcialmente los grifos.

Hay un aparato de seguridad contra el hielo, y consiste en un grifo que, á una temperatura dada, se abre y desagua la cañería.

Cuando se ha helado el agua en los tubos, se deshiela con una lámpara de dardo ó con vapor de agua caliente introducido en el tubo por otro flexible de caucho.

238. *Refrigerantes.*—Cualquiera que sea el sistema del refrigerante, debe basarse en el concepto de hacer atravesar la cañería por un *ambiente frigorífico,* y en él conviene desarrollar todo lo posible la cañería, disminuyendo á la vez la velocidad del agua.

El ambiente frigorífico puede ser *natural* ó *artificial*. Será natural cuando se aprovechen las bajas temperaturas que hay bajo el suelo, y entonces el ambiente que se atraviese puede ser el suelo mismo, una capa de agua á baja temperatura, una galería ó un depósito. Las galerías largas en general, y sobre todo si están á gran profundidad, funcionan como refrigerantes. Será artificial cuando artificialmente se produce un frío más ó menos intenso, bajando la temperatura del aire ó del terreno, ó de cualquier líquido susceptible de usarse como medio de absorber el calor.

La refrigeración del agua puede hacerse en grande ó pequeña escala.

En pequeña escala se efectúa con aparatos adecuados al consumo para una familia. Estos aparatos pueden funcionar á presión ó á nivel libre; pero como hay que preservarlos del calor, se disponen en lo posible en subterráneos, y es conveniente conservarlos á presión. Son, pues, depósitos á presión de forma especial

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

para que ofrezcan mucha superficie en contacto con la mezcla frigorífica ó cuando está en contacto con una capa de agua á baja temperatura. Entre las mezclas frigoríficas utilizables, las siguientes son las principales:

MEZCLAS	Descenso de temperatura.
Sales y aguas.	
5 p. de nitro, 5 p. de sal amoníaco y 16 de agua.	22° cent.
1 p. de nitrato amónico y 1 de agua	27° —
1 p. de íd. íd., 1 de carbonato sódico y 1 de agua.	29° —
57 p. de cloruro de sodio, 32 de sal amoníaco 10 de nitro y 1 de agua. . . . , ...	15° —
Sales y ácidos.	
5 p. de sulfato sódico y 4 de ácido sulfúrico . . .	18° —
5 p. de íd. íd. y 2 de ácido nítrico diluído.	19° —
9 p. de íd. íd. y 4 de íd. íd.	39° —
Hielo y sales.	
2 p. de hielo machacado y 1 de cloruro sódico . .	20° —
2 p. de íd. íd., 10 de cloruro de sodio, ó de cloruro amónico y 5 de nitro, ...	28° —
5 p. de íd. íd., 2 de íd. íd. 1 de íd. íd. y 5 de íd. . . .	2° —
12 p. de íd. íd., 5 de íd. íd. y 5 de nitrato amónico.	31° —

En realidad es inútil citar las mezclas con hielo, pues si lo hay abundante en la localidad, no hay que pensar en refrigerantes; pero se han indicado porque el hielo natural procede casi siempre de aguas que pueden contener microorganismos patógenos de todas clases.

Para la refrigeración doméstica pueden usarse las máquinas pequeñas.

Los refrigerantes pequeños se construyen de modo que se muevan á mano ó automáticamente por medio de aparatos de relojería, que también automáticamente forman la mezcla, y aun por medio de la presión del agua misma. De todos modos, aun eligiendo las sales más baratas, un metro cúbico de agua cuesta siempre por cada grado que baje la temperatura de 2,00 ÷ 5,00 pesetas ó más si se tiene en cuenta el interés y amortización del capital empleado, que no guarda relación con los gastos de explotación.

La refrigeración en gran escala puede hacerse, como ya se ha dicho, con un ambiente frigorífico natural; pero cuando el des-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

censo de temperatura que se quiere obtener es superior al que se puede conseguir con los medios naturales, hay que recurrir á la termodinámica.

Para crear un ambiente frigorífico muy extenso se usan máquinas especiales de producción de frío, que funcionan por la compresión ó dilatación del aire, ó por la evaporación de un gas liquidado.

El coste de la refrigeración en gran escala, comprendiendo los gastos de establecimiento y explotación, puede admitirse es 1,5 céntimos por cada metro cúbico de agua y grado centígrado de descenso de temperatura durante los cinco meses más cálidos. Supóngase una población que tiene el agua potable á 24° centígrados en los meses de estío, y que se quiere bajar la temperatura á 20° centígrados durante los cinco meses más cálidos, es decir, de Mayo á Septiembre. El precio del agua aumentará en 0,30 pesetas por metro cúbico en dichos meses. Si se quiere repartir este gasto en los demás meses en que no es necesaria la refrigeración, el precio del agua aumentaría en 0,121 pesetas por metro cúbico.

Conclusiones sobre los refrigerantes.—El problema de los refrigerantes para conducciones de agua ha sido estudiado detenidamente por Perdoni, que deduce los siguientes resultados:

1.° Pueden tenerse refrigerantes privados ó domésticos, tanto á presión como á nivel libre, sirviéndose para ambiente frigorífico de un ambiente natural, como los pozos, cuevas y el subsuelo en general, ó bien valiéndose de ambientes frigoríficos artificiales, creados con mezclas frigoríficas; en estos casos, ó es poco eficaz el refrigerante, ó muy costosa la refrigeración.

2.° Bastante más conveniente resulta la refrigeración en gran escala. Entonces los refrigerantes están constituídos por grandes depósitos subterráneos, por los que pasa un serpentín metálico. El agua entra en el depósito, y por medio de tabiques divisorios se la obliga á estar en contacto con el serpentín varias veces, circulando unas de abajo arriba y otras en sentido contrario. En el serpentín circula un líquido incongelable á temperatura muy baja; la temperatura se calcula en función de la capacidad del depósito. La refrigeración producida por este medio sólo durante los meses de calor es económica y puede constituir una especulación para las Sociedades ó Compañías explotadoras de abastecimientos de aguas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ 2.—**Alcantarillado** (1).

239. *Diversos sistemas de alcantarillado.*—Los diversos sistemas de alcantarillado tienen todos por objeto impedir las emanaciones nocivas ú otros medios de infección del agua y el aire; los estudios más recientes prueban que el alcantarillado ejerce una acción notable en las enfermedades infecciosas y que se produce la infección del aire por medio de la del suelo.

En el alcantarillado pueden distinguirse tres grandes sistemas: 1.° *Colectores fijos.* 2.° *Recipientes móviles.* 3.° *Sistema de circulación continua.* Los dos primeros tienen poca relación con las leyes hidráulicas. Los *colectores fijos* son aplicables en poblaciones pequeñas y en centros puramente agrícolas. Consisten en pozos destinados á recibir las materias que circulan por las letrinas y las de los fregaderos y vertederos. Estas materias se extraen después con aparatos pneumáticos, destinándolas á usos agrícolas. Los *recipientes móviles* consisten en depósitos transportables que, cuando se han llenado, se sustituyen por otros vacíos. Hay muchísimas disposiciones para este objeto, bien por medio de galerías subterráneas ó pozos accesibles que faciliten lo posible el transporte de los recipientes.

El sistema de *circulación* requiere una canalización propia, como en las conducciones de aguas; por esa canalización se evacuan las materias que, si por su densidad tienden á depositarse en algunos puntos, se auxilia la evacuación con corrientes de agua continuas ó intermitentes. Este último sistema es el que hidráulicamente presenta mayor interés.

240. *Clasificación de las materias que se evacuan, cantidad y volumen.*

Materias sólidas.

1.° Deyecciones humanas.
2.° Idem de animales domésticos.
3.° Residuos, basuras y sobrantes de las casas.
4.° Cenizas.
5.° Basuras y barreduras de las calles.
6.° Residuos sólidos de la industria y establecimientos públicos.

---

(1) Para más detalles, véase Spattaro, *Manual de saneamiento de poblaciones.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

7.º Restos de animales.

8.º Nieve.

Materias líquidas.

1.º Orines humanos y de los animales domésticos.

2.º Aguas del aseo personal y de las casas, lavados.

3.º Aguas sobrantes de los mataderos, mercados y establecimientos industriales.

4.º Aguas meteóricas.

La cantidad de estas materias varía mucho de una población á otra. (Véase Spattaro, obra *c.)*

241. *Sistema circulante.*—Puede ser:

Mixto *(tout-à l'égout).*

Separador ó de líquidos separados.

La preferencia de cada uno depende de las condiciones locales y puede ser muy discutido. Hoy va extendiéndose mucho el sistema de líquidos separados como mejor, aun económicamente, por las razones siguientes:

1.ª Más facilidad para separar y depurar las aguas negras.

2.ª Limitación en las exigencias higiénicas de aislamiento y permeabilidad en la canalización para aguas negras, y menos cuidado en la red para aguas limpias.

3.ª Posibilidad de aprovechar muchas veces la red de alcantarillado existente, construyendo nueva solo la red para aguas negras.

El sistema mixto puede convenir cuando en la población no existe alcantarillado ó si tiene una importancia tal que no importe el coste enorme de la construcción.

Debe desecharse la idea de aprovechar la red de alcantarillado para establecer las redes de alumbrado, aguas potables, etc. Además de las razones higiénicas que se oponen á ello, se requieren secciones mucho mayores de las necesarias, ya de por sí grandes en el sistema mixto.

A).—*Sistema circulante mixto* (tout-à l'égout).

242. Gasto y cantidad de materias líquidas que hay que evacuar.

Aguas negras.—Fórmula de Bentivegna:

$$Q_1 = \frac{\frac{3}{4} V + 1{,}15}{\alpha \; 3600} \cdot \frac{P}{S}. \tag{65}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

V = volumen (en metros cúbicos) de agua gastada en la población por día y habitante.

1,15 = cantidad total (en litros) de las deyecciones sólidas y líquidas y otras materias, por día y habitante.

P = población de la zona.

S = superficie de la zona.

El coeficiente $\frac{3}{4}$ se debe á próximamente $\frac{1}{4}$ del agua empleada que no llega á la alcantarilla, gastándose en bebida ó perdiéndola por filtración, evaporación, etc.

α = número de horas en que hay el máximo gasto en la alcantarilla, nunca superior á 12. Este coeficiente tiene en cuenta la irregularidad del consumo de agua y el retardo producido en la marcha por la canalización.

Aguas meteóricas.—El gasto correspondiente Q_2 se calcula en función de las lluvias más abundantes. La altura de lluvia se conoce por observaciones pluviométricas; las pérdidas por evaporación y filtración varían según la amplitud de la cuenca, inclinación del suelo, permeabilidad del terreno, estación, clima, etcétera (véase núm. 23). En general se supone varía de $\frac{1}{2} \div \frac{1}{3}$ de la altura total caída.

El gasto total en las alcantarillas calculado para el sistema mixto, será:

$$Q = Q_1 + Q_2.$$

Aun en el caso del sistema mixto, conviene tener una circulación continua y abundante; y como no puede contarse continuamente con las aguas de lluvia, que son muy variables, hay que recurrir á la del abastecimiento si es en cantidad bastante ó á otras fuentes, como se verá al tratar del sistema separado.

243. *Trazado.*—Para el trazado de la red de alcantarillas en el sistema mixto, pueden aplicarse las mismas consideraciones que sirven para el trazado de la red de aguas limpias en el sistema por separado.

244. *Sección de las alcantarillas en el sistema mixto.*—La forma típica y mejor es la ovoidal de fondo circular, cubierta con bóveda también circular. Las dimensiones relativas de las diversas partes (que son arcos de círculo tangentes) pueden deducirse por diversas leyes. Las formas más usadas son las de las figuras 188 y 189.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se supone que en la sección (fig. 188) llega el agua hasta la imposta de la bóveda de radio S.

La superficie mojada, el radio medio y el gasto se expresan por las fórmulas

$$\omega = 3{,}023\, R^2; \quad R_m = 0{,}63\, R; \quad Q = 2{,}40\, k \sqrt{R^5\, i}.$$

Si la sección está completamente llena, se tiene:

$$\omega = 4{,}50\, R^2; \quad R_m = 0{,}58\, R; \quad Q = 3{,}50\, k \sqrt{R^5\, i}.$$

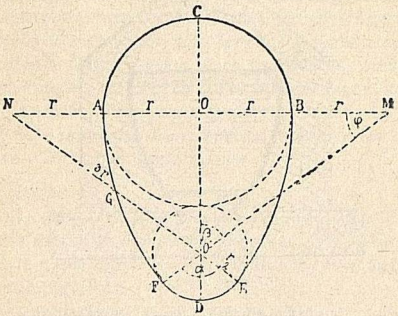


Fig. 188.

Cuando la sección se llena sólo hasta el nivel de gasto máximo ó de velocidad máxima, se tienen fórmulas intermedias.

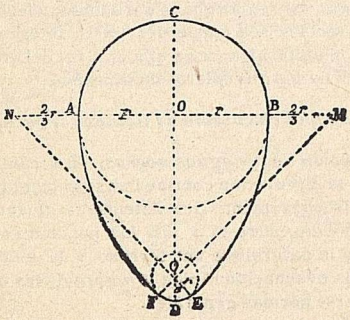


Fig. 189.

Conocido el perfil del interior de la sección, puede hacerse de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

hormigón de cemento, con espesor $\sim = \frac{1}{10}$ de la mayor dimensión del molde.

Si se emplean tipos de fábrica, los más sencillos son análogos al representado en la figura 190.

La profundidad del terreno no debe ser menor de un metro.

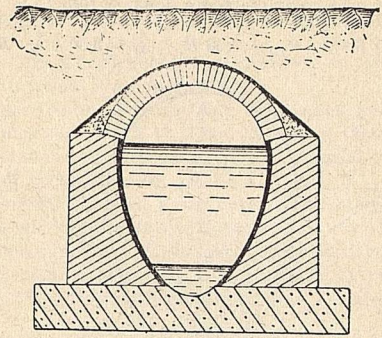


Fig. 190.

245. *Cálculo.*—En el cálculo de una alcantarilla de sistema mixto puede seguirse el sistema siguiente:

Calcular el diámetro del cauce ó parte inferior en función de la pendiente y demás elementos de la red, como si se tratase de una red para evacuación de aguas negras en el sistema de líquidos separados y según las reglas que se darán más adelante, de modo que la nueva sección sea capaz del gasto integral del *tout-à l'égout* cuando el agua alcance en ella el nivel del gasto máximo, es decir, el nivel de los aliviaderos de superficie.

B).—*Sistema circulante de líquidos separados.*

246. *Evacuación de las aguas negras.*—La cantidad de agua necesaria para la circulación continua en las alcantarillas negras y el trazado más conveniente del sistema de alcantarillas están ligados íntimamente entre sí y con las pendientes que pueden adoptarse, dada la naturaleza del terreno y la velocidad límite admitida para la evacuación rápida y segura de las materias.

No pueden darse normas generales.

Velocidad.—La potencia dinámica de transporte de las materias que se evacuan depende del producto de la masa de agua (que se mueve) por la velocidad; en las canalizaciones grandes basta una

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

velocidad mínima de 0,50 m.; en las pequeñas se requiere una velocidad mínima de 1,00. En general se consideran convenientes las las velocidades siguientes para la evacuación completa en tubos de cemento ó gres:

Gasto 0,040 ÷ 0,100 m³. . . $v = 1{,}000 \div 0{,}80$ m. por 1"
0,100 ÷ 0,150 — . . . $v = 0{,}80 \div 0{,}70$
0,150 ÷ 0,200 — . . . $v = 0{,}70 \div 0{,}60$
0,200 en adelante. . $v = 0{,}50$ por lo menos.

Pendiente.—Las pendientes están sujetas á las exigencias del terreno. El origen del alcantarillado no puede estar á menos de 0,50 bajo el terreno, para recibir las atarjeas privadas. El extremo no debe exceder mucho de 4.00, porque pasando de esto la excavación ofrece dificultades. Las pendientes aumentan desde 0,0005 en los canales colectores más grandes hasta 0,01, por lo menos, en las atarjeas. Conviene seguir las líneas de nivel con las arterias de más importancia, y normales á ésta, las alcantarillas secundarias y de importancia menor.

247. *Trazado.*

Primer sistema.—El tipo ideal de trazado para la eliminación de las aguas sucias de un centro populoso, con relación al abastecimiento de aguas potables, está indicado en la figura esquemática siguiente (fig. 191):

A = punto de derivación del agua potable,
B = aparatos de depuración (eventuales),
$C\,F$ = población que se abastece y sanea,
$C\,d$ = red de distribución de agua potable,
$e\,f$ = red de evacuación de aguas sucias,
G = depósito de decantación (eventual),
H = punto de restitución de las aguas depuradas.

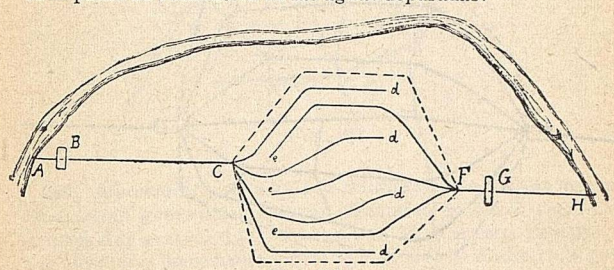


Fig. 191.

Este tipo ideal es muy difícil de realizar:

1.° Porque la cantidad de agua potable es casi siempre insufi-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ciente para el lavado de las alcantarillas, por necesitar esto un gran volumen de agua y no requerir en cambio las condiciones de pureza indispensables en las aguas potables.

2.º Porque el agua para la limpieza del alcantarillado no necesita una cota de origen tan elevada como para las potables que ha de elevarse á las casas.

Por esto conviene casi siempre recurrir á una provisión de agua, separada, que pueda derivarse de una corriente cualquiera ó del subsuelo por medio de pozos y galerías.

En el trazado descripto antes (cuando es posible), las canalizaciones terciarias reciben las aguas procedentes de usos domésticos, y si éstos no bastan para la evacuación, se lleva al origen de ellos agua de otra procedencia conducida á la población, y que distribuída con redes especiales, va acumulándose en las alcantarillas secundarias y finalmente en los colectores, aumentando progresivamente el gasto y reduciendo la pendiente.

Para este sistema se requiere también:

1.º Un manantial ú origen de agua, de cota bastante elevada, para poderlo conducir al origen de la canalización terciaria. La cantidad necesaria se calcula en una media de 150 litros por cabeza y día, comprendiendo en ella el sobrante de las aguas potables de que está abastecida la población, y que puede calcularse en $\frac{3}{4}$ de la dotación.

2.º Una pendiente natural del terreno bastante acentuada, pues las canalizaciones secundarias y terciarias tienen un gasto muy pequeño.

3.º Una red de distribución separada para las aguas limpias.

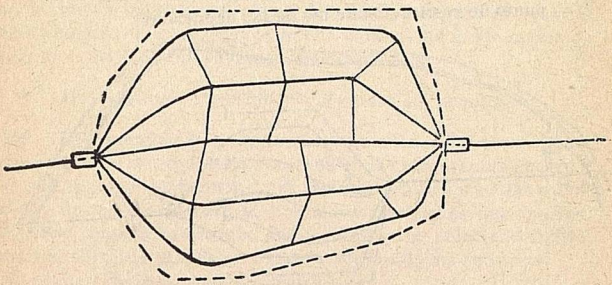


Fig. 192.

Segundo sistema.—Consiste en llevar á la población una cantidad de agua más abundante y á una cota más baja, derivándola

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en un sistema de colectores que se reunen en el otro extremo de la población (fig. 192).

Los colectores pueden estar independientes ó enlazados entre sí con tubos transversales. Este sistema *de aguas reunidas* se usa cuando se dispone de un desnivel total muy pequeño y de un manantial abundante.

En los dos tipos de trazado citados conviene, si la población es montañosa, separar las aguas altas de las bajas y evacuarlas independientemente al recipiente.

Cuando la población es muy llana, puede convenir el sistema radial (fig. 193). Los colectores están alimentados del centro y se reunen en el perímetro para desaguar juntos en el recipiente.

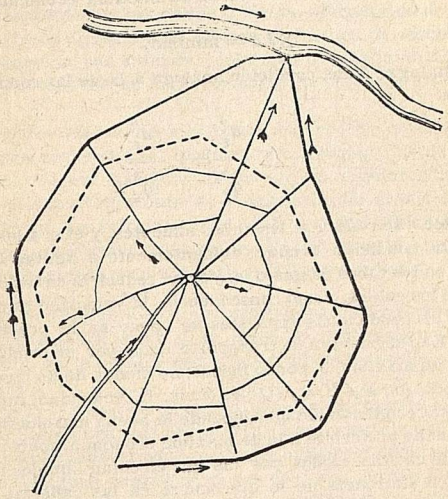


Fig. 193.

248. *Materiales y forma de la canalización de aguas negras.* Se emplean generalmente tubos circulares de barro cocido, vidriados ó de gres, de 0,40 ÷ 0,50 metros de diámetro; después tubos circulares de cemento, hasta 1,00 metros de diámetro, y para dimensiones mayores, canales de cemento, ó cemento armado, ó fábrica, revestidos interiormente de cemento. La sección es ovoidal.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

249. *Cálculo de la red negra.*—Fijo el trazado y suponiendo se empleen tubos circulares, se efectúa el cálculo, siguiendo los criterios siguientes:

1.º En cada trozo ha de satisfacerse la ecuación del movimiento uniforme:

$$Q = \chi \sqrt{R_m i} \quad \text{para} \quad \chi = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R_m}}},$$

según la fórmula nueva de Bazin.

2.º Cuando se disponga de agua abundante y desnivel suficiente, conviene realizar la ecuación de máxima economía en los nudos

$$\Sigma\, l\, d = \text{mínimo}.$$

Esto da lugar á una condición análoga á la de las conducciones forzadas:

$$\Sigma \frac{d_r^6}{q_r^2} = \Sigma \frac{d_s^6}{q_s^2}.$$

El índice r se refiere á los tubos afluentes, y el s, á los derivados. Esta condición conduce evidentemente á agotar la carga máxima en los tubos de gasto mayor y reducirla en los de menor gasto, en los cuales, como consecuencia, la velocidad es pequeña.

3.º A las condiciones expuestas se opone en la práctica lo siguiente: La fuerza viva de transporte dada por el producto $Q\ U$ debe ser un máximo, ó, por lo menos, no menor de un cierto límite, de modo que sea $U = f(Q)$, es decir, la velocidad función del gasto. Esta condición, de que depende la buena marcha de la conducción, debe preferirse á la de máxima economía, sobre todo tratándose de canalizaciones por las que circulan líquidos turbios ó densos, con diferencia de lo que ocurre en las cañerías de agua potable.

4.º Se adopta la sección de máximo gasto ó de máxima velocidad, según que el elemento más deficiente sea la cantidad de agua disponible para la limpieza ó la pérdida total de carga disponible. (Véanse números 101 y 102.)

Para las secciones circulares de máximo gasto, se tiene:

Angulo en el centro..... $\varphi = 52^0$
Sección mojada..... $\omega = 0{,}7705\ D^2$.
Radio medio de la sección.... $R_m = 0{,}2866\ D$.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para las secciones circulares de velocidad máxima:

Angulo en el centro..... $\varphi = 102^{\circ},30'$

Sección mojada..... $\omega = 0{,}6847\ D^2$.

Radio medio de la sección.... $R_m = 0{,}3047\ D$.

Con estos criterios se calcula la red por tanteos y de diversos modos, según el tipo de trazado elegido y recordando que las cantidades arbitrarias del problema son los diámetros de los tubos, las pendientes de los diversos trozos, sujetos empero á las exigencias de la pendiente del terreno y hasta un cierto límite (que depende del trazado) del gasto de los diversos trozos, los cuales están sometidos á la única condición de que en cada nudo la suma de los gastos afluentes sea igual á la de los derivados.

250. *Evacuación de las aguas limpias.*—Generalmente los canales para estas aguas son de fábrica ó cemento, de sección ovoidal ó rectangular, con el fondo ó solera en bóveda invertida.

Su trazado depende en la mayor parte de la topografía del terreno.

En casi todas las poblaciones existe una red de alcantarillado más ó menos racional que, modificada convenientemente, puede servir para evacuar las aguas claras que no requieren condiciones especiales muy rigurosas de aislamiento del exterior y evacuación rápida. La velocidad debe ser la mayor posible y siguiendo el mismo criterio indicado respecto á los gastos y tal que no permita sedimentos, varía de $0{,}60 \div 1{,}00$ metros ó más.

251. *Emplazamiento de las alcantarillas.*—Las alcantarillas, por conveniencias de gasto y de servicio, se disponen á lo largo de las calles; en las calles estrechas ó de ancho medio se sitúan en el centro.

En las de $15 \div 30$ metros de ancho, especialmente para las aguas limpias, se coloca una sola alcantarilla á un lado de la calle, y por medio de tubos transversales recibe las aguas del otro lado.

Para las de aguas negras se ponen dos, una á cada lado de la calle, con objeto de hacer más cortas é inclinadas las atarjeas de las casas. En el cálculo se considera una sola; la otra puede ser menor y tubular, uniéndola á la primera que actúa como colector. Cuando sea posible conviene evitar este desdoble de la canalización. Si la población tiene pendientes muy fuertes en algunas calles ó en algunos trozos de ellas, pueden dejarse correr las aguas limpias al descubierto por las cunetas de las calles.

252. *Cierres herméticos.*—Para impedir que los gases mefítico de las alcantarillas salgan al exterior, se han ideado varios sis-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tema de cierres herméticos, que pueden clasificarse en varias categorías: 1.ª, sistemas de válvula; 2.ª, de cierre hidráulico.

Los *cierres de válvula* necesitan un hombre para abrirlos ó cerrarlos, y consisten generalmente en un tapón cónico ó una válvula de charnela. En los *hidráulicos* se da el tubo la forma de un sifón (fig. 195), en que se detiene el agua é impide la salida de los gases. Hay también un sistema mixto, hidráulico y de válvula, que funciona automáticamente. Se reduce (fig. 194) á una válvula esférica flotante que, tendiendo á elevarse en el líquido, cierra el tubo de entrada.

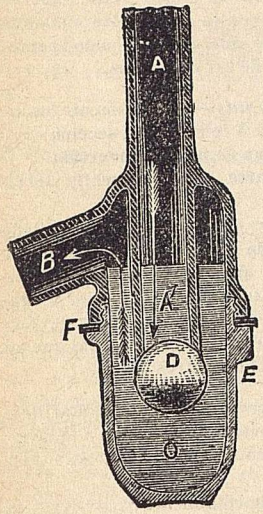


Fig. 194.

Los cierres hidráulicos se basan en el funcionamiento de los sifones y deben satisfacer á dos condiciones esenciales:

1.ª Que la capa de agua sea tal que resulte siempre eficaz el cierre.

2.ª Que el aparato dé salida fácil, no sólo á los líquidos, sino á las partículas sólidas que lleve en suspensión.

Illyer fijó las condiciones siguientes para que un sifón funcione bien:

1.ª No debe tener ángulos interiores, para evitar se depositen en ellos las inmundicias.

2.ª Es necesario que los tubos sean cilíndricos y dispuestos de modo que la capa de agua forme un tapón de 37 á 50 centímetros de altura.

3.ª El cuerpo del sifón debe ser más pequeño que el orificio de entrada.

4.ª El orificio del sifón ha de disponerse de modo que las descargas caigan sobre el *tapón de agua* con carga, para que puedan evacuarse todas las materias que entran en el sifón y se renueve por completo el contenido de éste.

5.ª Las bocas de todos los sifones fijos á los extremos de las cañerías de las casas deben estar al aire libre, para que los gases mefíticos puedan desprenderse libremente.

Deben evitarse en absoluto los cierres hidráulicos en que los sifones no sean verticales.

Sumideros.—Sirven para recibir las aguas pluviales de la calle

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y pasarlas á las alcantarillas por medio de un sifón hidráulico. Suelen constar de una rejilla, pozo de depósito y sifón hidráulico. Hay muchos modelos; son muy prácticos los representados en las figuras 196 y 197.

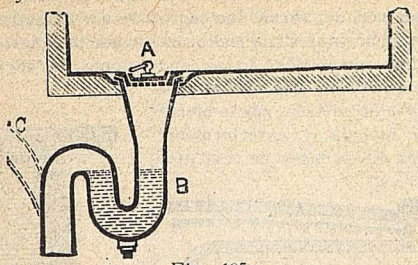


Fig. 195.

253. *Pozos de registro y limpieza.*—Se colocan, si es posible, en todos los nudos de la red, en todos los cambios de sección y de dirección y cada 50 ÷ 70 metros en los trozos rectos muy largos. Pueden situarse en el eje de la calle ó bajo las aceras; los primeros son verdaderos pozos, cómodos para el acceso de los operarios que deban efectuar la limpieza (figs. 198 y 199); los segundos pueden reducirse á sencillas chimeneas verticales cerradas con planchas de metal ó losas de piedra.

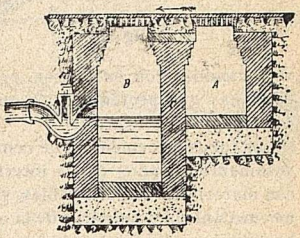


Fig. 196.

254. *Ejecución de los trabajos.*—En las obras de alcantarillado, además de las reglas prácticas comunes á esta clase de

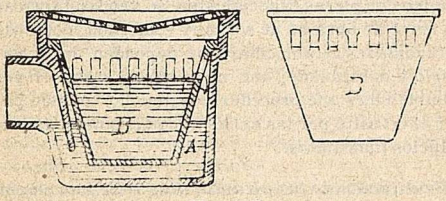


Fig. 197.

trabajos, hay que tener en cuenta muy especial:

1.º Que el lecho de asiento de los tubos esté bien regularizad

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

para ofrecer una resistencia uniforme. Se usa para ello arcilla plástica bien apisonada y mejor hormigón de cemento.

2.º La tierra sobre la conducción tendrá un espesor mínimo de 1 m., y si la calle está sometida á un tráfico pesado, esa capa se apisona bien para que forme una especie de muelle que amortigüe los choques accidentales que pudieran romper la cañería.

3.º La impermeabilidad en las conducciones de fábrica se garantiza interiormente con un enlucido de cemento bien alisado, por lo menos en la parte mojada, y exteriormente con una capa de hormigón de cemento.

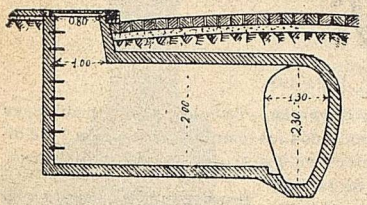


Fig. 198.

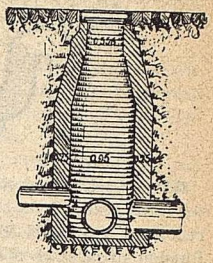


Fig. 199.

Si la canalización es á gran profundidad en terrenos húmedos y flojos hay que protegerla con una capa de hormigón de un espesor mínimo de 0,10 m.

Los tubos de cemento ó de cemento armado han de estar cuidadosamente alisados en el interior; las juntas serán herméticas, con materiales impermeables resistentes al hielo y á las acciones mecánicas y químicas de la corriente, así como á las variaciones higroscópicas del ambiente; debe, pues, rechazarse la arcilla, y en cambio usar el cemento puro, el fraguado lento, la estopa alquitranada, el betún de fontanero, etc. La unión de los tubos se hace también con piezas especiales que se venden fabricadas.

4.º La mano de obra ha de ser muy esmerada, debiendo operar á las profundidades establecidas que dependen de la naturaleza del subsuelo y del trazado, que no siempre sigue el perfil de la calle. También hay que proceder con mucho cuidado para no interrumpir el tránsito por las calles ni comprometer la estabilidad de los edificios inmediatos.

255. *Ventilación de las alcantarillas.*—Se han elegido varios medios para ventilación de las alcantarillas, sirviéndose de tubos descendentes del techo, abriendo ventiladores á las calles, etcétera; pero todos presentan obstáculos é inconvenientes. Es un pro-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

blema de gran importancia, para evitar que los gases deletéreos impurifiquen la atmósfera.

Toda alcantarilla debe tener dos tubos: uno de admisión del aire exterior y otro de extracción que sobresalga por encima de las cubiertas (fig. 200) ó vaya por una chimenea, en la que el tiro pueda auxiliarse con un mechero de gas ú otro foco de calor.

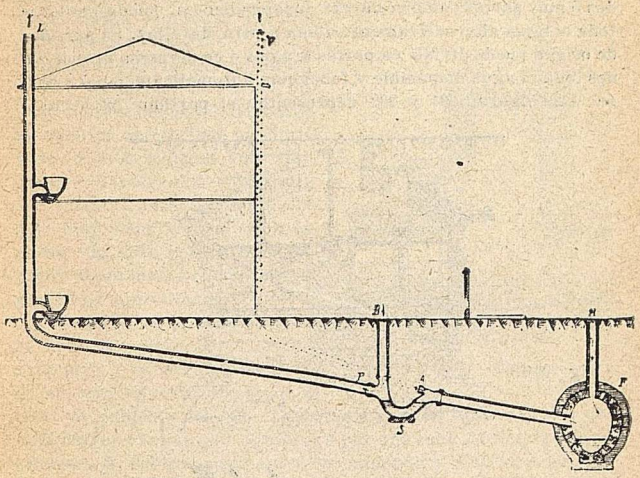


Fig. 200.

256. *Limpieza mecánica de las alcantarillas.*—La limpieza del alcantarillado se efectúa por medios mecánicos ó por el trabajo de hombres cuando las alcantarillas son practicables. Los sistemas que más aplicación ofrecen son los hidráulicos, que conservan constantemente en las alcantarillas una cantidad considerable de agua que, al correr continuamente, lava y arrastra todo, ó en verter de vez en cuando cantidades grandes de agua. Si se dispone de agua permanente, la construcción del alcantarillado se reduce á una conducción de fábrica, hecha con arreglo á todas las conducciones de nivel libre.

Para verter el agua á intervalos se usan medios mecánicos movidos á brazo para abrir grandes depósitos, y en este caso se emplean sistemas de compuertas como los que se describen para los canales y tubos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

C).—*Sistema de lavados parciales.*

257. *Partidores.*

Partidores en el origen de la red.—Si la red está dividida en dos ó más partes completamente independientes, puede enviarse toda el agua alternativamente á una ú otra de ellas. El partidor de origen puede dividir en partes iguales ó en diversas proporciones toda el agua disponible y funcionar automáticamente ó á brazo. Las figuras 201 y 202 representan el partidor proyectado

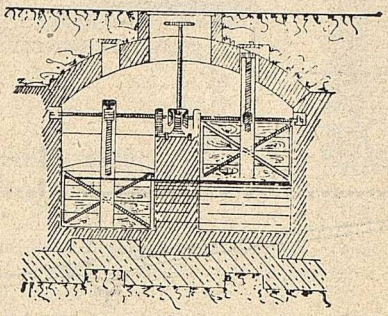


Fig. 201.

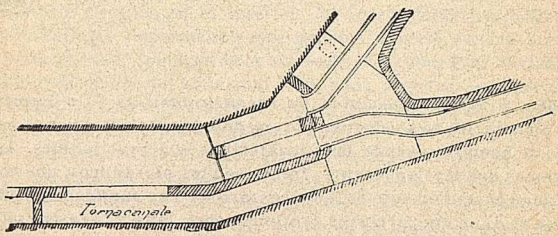


Fig. 202.

por Torricelli para Carpi. El lavado de cada parte de la red se efectúa en 3 ÷ 5 horas.

Partidores en el interior de la red.—El mismo concepto y una disposición análoga puede aplicarse á cualquier nudo de la red, permitiendo por medio de maniobras oportunas de apertura y

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cierre de válvulas automáticas ó á mano que el agua corra por una ú otra de las derivaciones.

258. *Limpias periódicas.*

Limpias periódicas con compuertas.—Se emplean compuertas móviles que, interrumpiendo el paso de la corriente, permiten descargar el líquido almacenado aguas arriba y obtener una limpia suficiente (fig. 203).

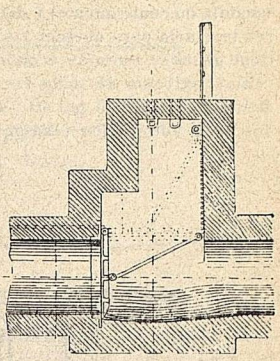


Fig. 203.

Limpias periódicas con depósitos.—El mismo efecto se obtiene con los depósitos de carga automática que reciben un cierto gasto y lo descargan automáticamente á intervalos y en cantidad bastante para la limpia. Un tipo muy sencillo es el *sifón lavador* (fig. 204); consta de un depósito de un metro cúbico de capacidad aproximadamente, en cuyo centro hay un tubo vertical de fundición, abierto por los dos extremos, y el inferior sumergido en otro depósito de agua; el tubo va cubierto por una campana, también de fundición, que deja entrar el agua por agujeros ó por una zona libre en la parte inferior. Al subir el agua entre la campana y el tubo, ceba el sifón y vacía rápidamente el depósito; el gasto por 1" necesario es de $\frac{1}{10} \div \frac{2}{10}$ de litro.

Para el cálculo de la sección del tubo se considera la boca inferior como orificio de fondo remansado á nivel variable; después se comprueba si con la sección hallada puede evacuarse el gasto máximo; es decir, el que hay al principio de la salida, suponiendo que el movimiento se verifica en conducción forzada, bajo una presión igual al desnivel máximo entre el nivel de agua del depósito y del vaso y para una longitud igual á la trayectoria recorrida por el filete medio del agua durante su paso desde la sección más baja de la campana á la boca de desagüe del tubo y teniendo en cuenta todos los cambios de sección y de dirección que hay en tal recorrido.

259. *Limpieza continua en los colectores y depósitos automáticos en el origen de las alcantarillas terciarias.*—Cuando se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dispone de un manantial insuficiente para la limpieza de toda la red y el trazado de ésta tiene grandes colectores, puede convenir limitar el servicio á los colectores principales y á algunas derivaciones de enlace, y para las limpias de orden inferior servirse del acueducto, si existe, ó bien procurarse de otro manantial cualquiera un gasto pequeño de cota suficientemente elevada (aun elevándola mecánicamente) y distribuyéndola en los extremos de la red terciaria para obtener las limpias intermitentes. Este sistema tiene grandes ventajas económicas.

En el extremo de todos los canales terciarios que tienen pendiente menor del 10 por 100, se coloca un depósito de fábrica, de descarga automática (análogo al de la figura 204). La descarga

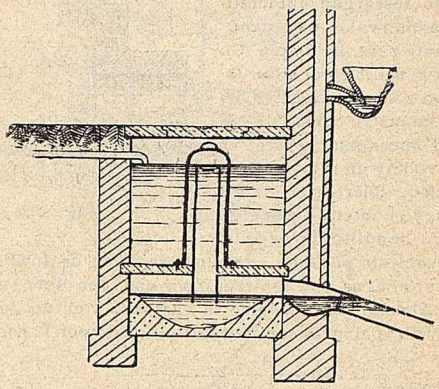


Fig. 204.

se efectúa cada 2 ó 3 horas, y así se conserva limpia la red hasta los colectores, donde el lavado es continuo. Pueden utilizarse como depósitos algunos pozos negros si la planimetría del terreno lo permite, para que con el menor número posible de depósitos pueda hacerse el servicio completo. La figura 205 indica en esquema una disposición. El gasto necesario para los depósitos varía con sus dimensiones y con el intervalo que ha de mediar entre las descargas sucesivas. Para 1 m³ de capacidad la descarga se verifica cada 2 ó 3 horas, siendo el gasto de admisión de agua de 0,1 ÷ 0,2 litros por 1″.

Tuberías de retretes con depósitos.—La práctica demuestra que si la pendiente es mayor del 10 por 100, las materias focales al

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

caer con gran cantidad de agua se subdividen rápidamente y forman un líquido denso, que corre fácilmente por la alcantarilla hasta el colector, sin necesidad de lavados auxiliares. Prácticamente se da á estos tubos un diámetro de $0{,}16 \div 0{,}20$ metros.

Tuberías de los depósitos á los colectores.—Reciben con intermitencias las descargas de los depósitos de origen y de los retre-

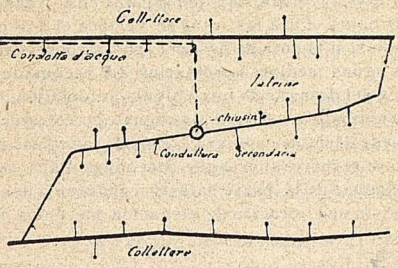


Fig. 205.

tes existentes en el recorrido. El gasto para estos tubos es uno de los más complejos del movimiento variado. En general para pendientes de $0{,}001 \div 0{,}011$ se toma un diámetro de $0{,}20 \div 0{,}25$ metros.

D) *Destino de las aguas del alcantarillado.*

260. *Desagüe en los ríos y canales.*—Prácticamente y por razones de higiene se establece que:

a) El punto de desagüe debe elegirse en situación aislada y lejano de todo lugar habitado, por lo menos en un radio de 100 metros.

b) El gasto del cauce receptor debe ser lo menos 15 veces el del colector que vierte en él. Suponiendo que las aguas se hallen en la proporcion de $\frac{1}{100}$, por lo menos respecto á las aguas del lavado, resulta en el recipiente una dilución de $\frac{1}{1500}$.

c) La velocidad ha de ser mayor en el recipiente que en el colector.

d) En estas condiciones se supone que á cierta distancia del desagüe hay una depuración espontánea en las aguas del recipiente, que no se resiente sensiblemente por los efectos de la admisión.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

e) La cota del desagüe debe estar sobre el nivel de las máximas avenidas del recipiente, para que no se produzcan remansos en el colector.

261. *Desagüe insuficiente en partes.*—Si por la altimetría de la población, una parte de ésta no puede desaguar sobre el nivel de las máximas avenidas, hay que separar en el trazado las aguas altas de las bajas. Para las altas se verifica el desagüe natural. Para las bajas, si la cota de desagüe puede conservarse sobre la cota de las aguas medias ú ordinarias del recipiente, basta proveer la boca del desagüe de una válvula automática, que durante las crecidas impida la salida de las aguas del colector.

Si la cota de desagüe es inferior á las de las aguas medias ó bajas del río, se recurre al desagüe mecánico. Para ello, todas las materias y aguas de la parte baja se conducen á desaguar naturalmente hasta una estación de elevación mecánica, á la cota necesaria.

262. *Desagüe en el mar.*—Para que la descarga resulte útil y nada antihigiénica se elige el desagüe donde haya agua profunda, playa libre, mar abierto y existan corrientes al largo.

El desagüe puede ser libre ó sumergido, y en ambos casos defendido por armadura. Puede establecerse la defensa como indica

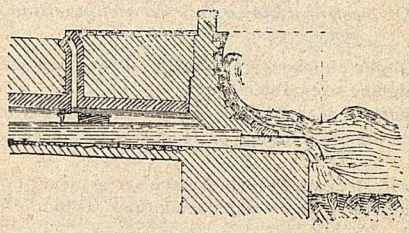


Fig. 206.

la figura 206, en la que aparece un ventilador para los gases que se desprenden en la alcantarilla.

263. *Depuración de las aguas del alcantarillado.*

a) *Depuración natural.*

1.° Por transporte en la corriente de ríos ó canales.

A cierta distancia de la desembocadura se produce una depura

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ción espontánea por el transporte de las materias orgánicas con la corriente del río ó canal receptor.

2.º Campos de depuración. Empleo agrícola para riegos.

Consiste en extender las materias sobre el terreno. Este actúa como filtro y retiene las materias orgánicas que se transforman y convierten en partes integrantes del mismo, mientras restituyen el agua totalmente depurada, que se recoge con un sistema de drenage.

Los campos de depuración, bien establecidos y organizados, pueden dar excelentes resultados financieros.

La cantidad de agua que hay que depurar por *Ha* se regula por el examen del drenage. Generalmente se supone bien abonado un terreno que recibe 1.000 m³ por *Ha* de aguas de alcantarillado, es decir, unos 550 gramos de nitrógeno al año. Todos los terrenos obtienen ventajas con los riegos, pero los mejores son los arcillosos.

El transporte al campo de riegos puede hacerse en canal cubierto ó descubierto ó en conducción forzada, á desagüe natural ó con elevación mecánica. La red de distribución se compone de una canalización principal y de otras secundarias; una y otras pueden ser de fundición ó de hormigón de cemento.

Además de superficiales (V. núms. 314 y 317) pueden ser los riegos subterráneos, pero higiénicamente es mejor la irrigación superficial.

b) *Depuración artificial.*

1.º *Método mecánico.*—Se obtiene la depuración por decantaciones sucesivas en grandes depósitos contiguos á diversas alturas, interceptados por substancias depurativas.

2.º *Método químico.*—Consiste en precipitar con reactivos químicos la mayor cantidad posible de las substancias orgánicas y minerales contenidas en el agua del alcantarillado.

E).—*Otros sistemas de alcantarillado.*

264. *Sistema pneumático.*—Se basa en la sustitución de la acción motriz de la gravedad en los canales regulares con pendientes por la fuerza mecánica de la presión del aire obtenido aspirando ó comprimiendo las aguas sucias en conductos herméticamente cerrados. Hay dos medios técnicos: ó aplicar el vacío á la descarga de las cañerías, ó hacer actuar en las derivaciones una columna de aire comprimido.

Al primer sistema corresponden los franceses de Dumont y Berlier y el holandés de Liernur; al segundo, el modelo inglés de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Shoue. Mejor es el sistema Liernur, porque los líquidos se recogen de dos canalizaciones: una para las aguas privadas, pluviales y de las calles, y la otra hecha exclusivamente para las aguas fecales. Ambas conducciones son tubulares: la primera, de circulación continua, y la segunda (que es lo característico del sistema), de circulación pneumática.

265. *Alcantarillas divisorias.*—Los métodos de separación más usados, son tres:

1.º *Por decantación.*—Las deyecciones caen en un primer depósito, del cual pasan los líquidos á otro, y así sucesivamente, dejando cada uno de ellos lleno de residuos.

2.º *Por filtración.*—Los líquidos pasan á través de paredes muy permeables que retienen las partes sólidas.

3.º *Por capilaridad.*—Los líquidos se conducen sobre superficies oblicuas de descarga, á las que se fijan por adhesión, mientras que las materias sólidas caen directamente en los pozos fecales.

266. *Alcantarillas de dilución.*—Obedecen al principio de diluir todo lo posible las aguas fecales del alcantarillado por medio de admisiones prolongadas en agua tranquila ó en movimiento,

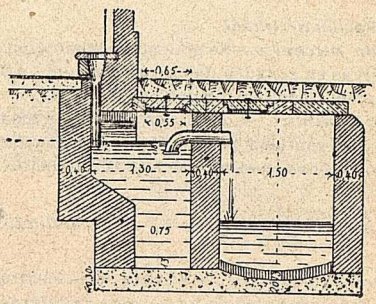


Fig. 207

de modo que se disuelvan las deyecciones sólidas y los residuos orgánicos de las cocinas. Son auxiliares de los sistemas circulantes y facilitan su instalación y ejecución. Entre ellas merecen especial mención los *pozos Mouras,* cuyo funcionamiento se representa detalladamente en la figura 207.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

267. *Alcantarillas de desinfección.*—Con objeto de evitar los perjuicios higiénicos de las alcantarillas fijas ó móviles, se construyen de modo que las materias se desinfecten en ellas y se conviertan en inofensivas. La desinfección se hace generalmente de dos modos:

Por vía seca.—Usando desinfectantes absorbentes, que quitan la humedad á las deyecciones y limitan la putrefacción.

Por composición química.—Empleando substancias que descomponen los productos volátiles de las fermentaciones, y, combinándose con algunos de éstos, los transforman en productos fijos.

Durante estos últimos años se han ideado alcantarillas que impiden por completo la putrefacción de las materias contenidas en aquéllas, creando una atmósfera mortal para los gérmenes que allí se desarrollan.

Todas las alcantarillas de desinfección deben responder á estos dos requisitos:

1.º La acción del desinfectante ha de ejercerse sobre las materias cuando están frescas.

2.º Dicha acción se verifica en presencia de las deyecciones y en la cantidad conveniente por medios automáticos.

§ 3.—Riegos.

268. *Objeto de los riegos.*—Los riegos tienen por objeto proveer de agua á los terrenos que carecen de la necesaria y favorecer el desarrollo de las plantas.

El desarrollo de la vegetación se detiene en general cuando el tanto por ciento en peso del agua desciende á menos $6 \div 10\,\%$ en los terrenos arcillosos, y en los arenosos del $6 \div 12\,\%$.

Si el terreno conserva constantemente una temperatura de $7^0 \div 8^0$ y el aire exterior alcanza $10^0 \div 12^0$, se renueva el fenómeno vegetativo.

Los riegos pueden ser de verano ó invierno.

Los primeros tienen por objeto dotar al terreno de la humedad necesaria; los segundos, conservar al terreno una temperatura suficientemente elevada.

Los riegos no han alcanzado aún el desarrollo debido ni se conoce exactamente la extensión regada y regable en España. A continuación se inserta un cuadro, en el que se indican las superficies de las cuencas y vertientes principales y superficie regable de algunas de ellas:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CUENCA	Superficie de la cuenca. — $Km.^2$	Superficie regable — *Hectáreas.*
Duero (en España)	79.000	102.875
Tajo	81.400	40.000
Guadiana	72.100	
Guadalquivir	64.500	
Vertiente oriental	65.400	
Ebro	86 000	138.138
Vertiente septentrional	29.200	
Vertiente de los Pirineos orientales	18.300	
Vertiente meridional	15.000	
Vertiente occidental	31.300	

269. *Calidad de las aguas para riego.*—Las aguas meteóricas son pobres en substancias convenientes para riegos; siguen las recogidas en depósitos naturales y artificiales; más ricas las de corrientes superficiales ó subterráneas, en contacto ó á través de materias útiles y de fácil disolución; muy ricas las procedentes del alcantarillado de centros populosos.

Como consecuencia de esto, se da á las aguas las denominaciones siguientes:

Dulces.—Cuando están caldeadas, aireadas y son ricas en principios útiles para la agricultura.

Crudas.—Cuando son frías, poco aireadas y sin principios útiles.

Gordas.—Según sean más ó menos ricas en materias orgánicas.

Pueden ser también turbias, límpidas, ácidas, minerales, incrustantes, etc.

Corrección de las aguas para riego.—Para corregir la temperatura, basta hacer recorrer al agua un largo trayecto para que adquiera la temperatura del ambiente.

Para corregir las aguas turbias ó incrustantes, basta depositarlas para que cedan los elementos nocivos.

Las aguas ácidas ó minerales se corrigen dejándolas expuestas al aire largo tiempo ó mezclándolas con otras aguas más puras.

270. *Cantidad de agua necesaria para los riegos.*—La cantidad de agua necesaria que para el riego se admite, es: de 5 ÷ 12,5 litros por 1" y hectárea para los arrozales; 35 ÷ 40 litros por 1" y hectárea para las *marcitas* (praderas de Lombardía), no contando las mermas; 0,8 ÷ 1,6 litros para cultivos mixtos; 10 ÷ 15 litros para prados ordinarios durante el riego que se hace una vez cada

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

10 ÷ 14 días; 15 ÷ 20 litros para los huertos, dando un riego de seis horas cada seis ú ocho días.

Pareto ha estudiado cada cultivo particular y da el número de días de riego al año, cantidad de agua por riego para cada cultivo, suponiendo constante la permeabilidad del terreno:

CULTIVOS	Número de riegos por años.	Cantidad de agua por cada riego. — Metros cúbicos.
Prados naturales	11	300
Trébol	4	350
Alfalfa	6	250
Sandías	4	400
Melones	5	300
Tabaco	3	350
Cáñamo	2	350
Lino	3	400
Arbejas	2	300
Jardines y huertos	24	300
Coles y nabos	2	250
Mijo	2	300
Maíz	3	300
Trigo y cebada	3	350
Centeno y avena	1	300
Habas y judías	2	350
Naranjos	20	200
Olivos	3	300
Higueras	3	300
Vides	1	300
Moreras	2	300
Lúpulo	2	350
Caña de azúcar	4	350
Cebollas	2	350
Lupulina	2	350
Remolacha	2	350

271. *Origen de las aguas para riego.*—El agua para riegos puede derivarse:

A) De manantiales naturales ó artificiales, ó de capas acuíferas subterráneas.

B) De ríos, lagos ó estanques naturales.

C) De depósitos ó lagos artificiales.

Elevación mecánica.—Cuando la cota á que ha de utilizarse el agua para riego no permita la conducción directa con pendiente natural, puede ser necesaria la elevación mecánica.

Este caso ocurre con frecuencia cuando las aguas para el riego

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

se han utilizado antes para el lavado de un alcantarillado urbano, á fin de enriquecerlas con los residuos y basuras y hacerlas mejores para el riego.

El emplazamiento de la estación elevadora se elige de modo que sea lo menos costosa posible la canalización necesaria.

A).—*Derivación de manantiales naturales ó artificiales, ó de capas acuíferas subterráneas.*

272. *Obras de toma.*—En la generalidad de los casos pueden aplicarse las obras y medios expuestos al tratar del alumbramiento de aguas potables (Parte III, § 1), y únicamente cabe prescindir de las precauciones que allí se indicaban para evitar la contaminación de las aguas.

Según el modo de presentarse el yacimiento acuífero, pueden consistir las obras:

1.º En un muro sencillo de presa (manantiales naturales).
2.º En una galería filtrante (capas acuíferas subterráneas).
3.º En pozos ordinarios ó Northon (ídem, íd., íd.).
4.º En pozos artesianos (aguas artesianas).

273. *Fontanillas.*—Se da este nombre á unas excavaciones más ó menos profundas practicadas en el terreno, donde se reco-

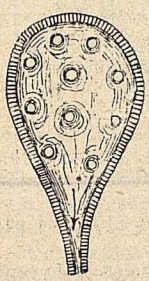


Fig. 208.

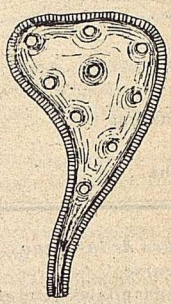


Fig. 209.

gen las venas del agua que circulan por el subsuelo y que conducen á las superficies. En una fontanilla hay que distinguir:

a) La *cabeza* ó cuenco, que es la excavación practicada alrededor de los veneros, llamados *ojos de fuente*. Tiene forma y dimensiones variables (figuras 208 y 209) (longitud, 50 ÷ 100 metros;

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ancho, 10 ÷ 40 metros; profundidad, 0,50 ÷ 1,00 bajo el nivel del agua).

b) La *garganta* ó parte más estrecha que conduce el agua al canal de toma.

c) El *canal,* que es la prolongación de la garganta, ó sea el *canal de toma ó derivación,* y en el cual puede haber también ojos de fuente. Esta parte debe hacerse en terrenos poco permeables para evitar las pérdidas de agua; en el primer tramo, la pendiente debe ser fuerte.

Después de algunas semanas de hecha la excavación y cuando se conocen bien los puntos por donde aflora el agua, se hincan unas tinas de madera (fig. 210) de un metro de diámetro aproximadamente, de 1 ÷ 2 metros de altura y 4 ÷ 5 centímetros de

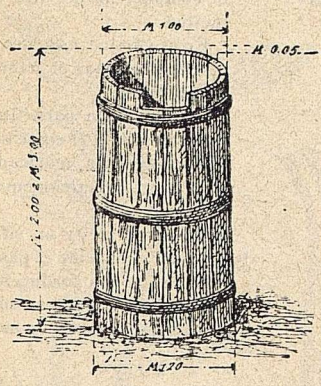


Fig. 210.

grueso. El borde superior de las tinas debe quedar elevado 7 ÷ 8 centímetros sobre el nivel del agua; á poca distancia de este nivel y por debajo de él se practica un orificio, por el que sale el agua y corre hacia la garganta. La potencia de estas fontanillas varía entre límites muy extensos, y puede llegar á 80 ÷ 140 litros por 1" si la cabeza ocupa un área de 2.000 ÷ 4.000 metros cuadrados.

Cuando además de la primera capa acuífera se quiere llegar á otras más profundas, se sustituyen las *tinas* por tubos de metal ó pozos de fábrica ó cemento.

A).—*Derivación de las aguas exteriores corrientes ó estancadas.*

274. *Derivación directa.*—Se efectúa cuando la cota del agua

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en el recipiente, en que se hace la derivación, supera sensiblemente á la de los terrenos que se van á regar.

La derivación puede hacerse:

1.° Abriendo en las márgenes del recipiente un vertedero ó un orificio con carga, que pueda cerrarse y regularse con compuertas ó llaves.

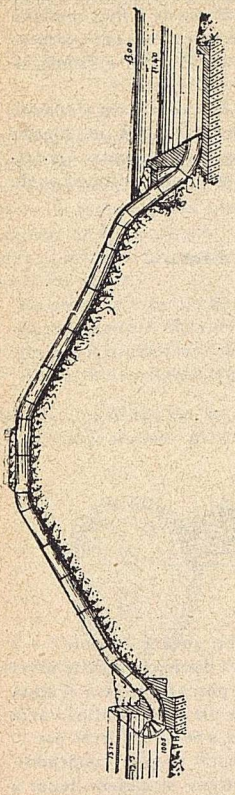


Fig. 211.

2.° Por medio de uno ó más sifones que traspongan las márgenes (fig. 211).

El sifón tendrá una rama sumergida en agua del recipiente á la cota á que se quiere hacer la toma, la otra rama desemboca en el canal de derivación. Las dos basas han de estar provistas de compuertas móviles de cierre hermético.

En el vértice hay una abertura que sirve para cebar el sifón por medio de una bomba.

La condición para que funcione es que el desnivel H entre la boca de toma y el vértice sea, teóricamente, $< 10{,}33$ metros y, prácticamente de $7 \div 8$ metros.

El diámetro de un sifón de sección circular, conocido el gasto, se deduce, como el de una conducción forzada, teniendo en cuenta los cambios de dirección ó de sección, con la fórmula

$$y = \frac{k\,L\,Q^2}{D^5} + \Sigma\,\gamma + \Sigma\,\Psi \quad \text{(V. n.° 104)}$$

Los sifones tienen la ventaja de su poco coste, pero muchas veces no pueden utilizar más que las aguas superficiales.

Tanto en los sifones como en los orificios de derivación practicados en las márgenes, conviene elegir una posición tal que el filete líquido se aleje todo lo posible de la orilla donde se hace la toma.

3.° Cuando la altimetría lo permita, se practican galerías filtrantes sobre el lecho del río ó torrente, respetando las márgenes. (Véase núm. 2).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

275. *Derivación mediante presas.*—Se hace cuando la cota del nivel en el recipiente excede poco de la de los terrenos que se riegan y hay que elevar el nivel del agua, por medio de presas, para obtener la caída necesaria y dirigir la corriente hacia el canal.

Presas de montaña.—En el tramo donde hay una pendiente muy fuerte, se hacen, generalmente, las presas fijas, pues no causan perjuicio; son muy ventajosas. La posición se elige en los estrechamientos naturales del cauce.

Pueden hacerse de madera, de madera ó piedra, y de fábrica. Si el agua escasea, se hacen de fábrica para evitar las filtraciones, profundizando los cimientos hasta llegar á la roca ó terreno impermeable, á fin de evitar las pérdidas por filtración. Un tipo de esta clase de presa se representa en la figura 212.

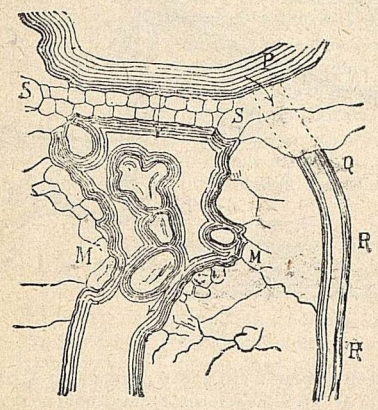


Fig. 212.

Presas en los tramos inferiores del curso de agua.—El emplazamiento de estas obras se elige donde el cauce está bien establecido y las márgenes se presentan sólidas. Rara vez hay que aprovechar los estrechamientos del cauce, porque siendo en ella mayor la velocidad del agua obliga á mayores gastos para obtener la estabilidad y resistencia de la presa.

276. *Presas incompletas.*—Para atenuar el efecto de los remansos y el perjuicio á los terrenos de agua arriba, se hacen á veces presas parciales que sólo ocupan una parte del cauce, del río, y sólo derivan hacia el canal una parte de la corriente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

277. *Dirección y forma de las presas.*—La forma tipica es la normal á la dirección de la corriente.

Se hacen á veces oblícuas, con inclinaciones de 60º ó 45º, para dirigir la corriente hacia la toma de agua. Para conciliar las ventajas de la inclinación máxima y de la extensión mínima de la

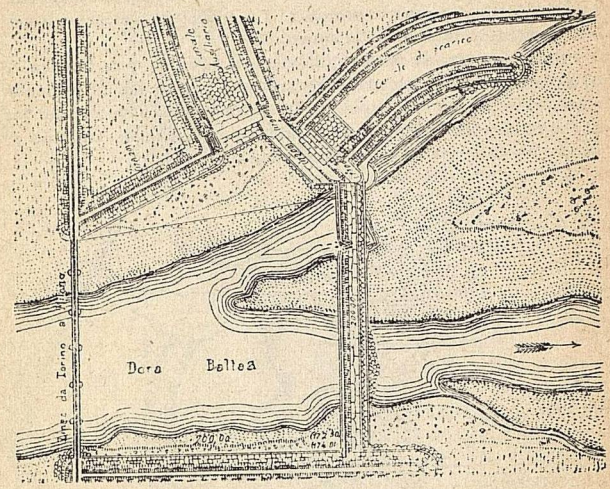


Fig. 213.

presa, se hacen de planta circular ó parabólica, ó con perfil mixto, compuesto de dos alineaciones rectas, unidas por un arco de círculo y siempre convexas hacia aguas arriba.

La sección de las presas es generalmente trapecial, con el talud

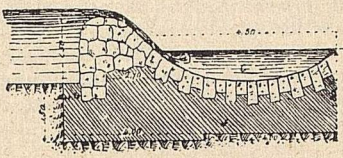


Fig. 214.

de aguas abajo bien protegido, seguido de un zampeado de ancho cuatro ó cinco veces la altura de la presa, y á veces con escolle-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ra, sostenida ó no por palizadas. Las figuras 213 y 214 representan la presa para derivación del canal Cavour, en el Dora Baltea.

278. *Presas móviles.*—Para evitar los grandes perjuicios que á veces causan los remansos (durante las grandes crecidas) y el recrecimiento de las márgenes, que imposibilitaría el desagüe de los terrenos de aguas arriba, se emplean presas móviles, es decir, presas que pueden quitarse del todo ó en parte en la época de las crecidas, dejando libre el curso del agua.

Constan en esencia:

1.º De un umbral de fábrica que se eleva poco sobre el fondo; ocupa todo el largo de la presa y tiene el ancho suficiente para fijar á ella los aparatos especiales de cierre.

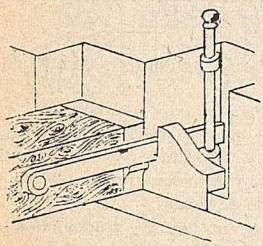


Fig. 215.

2.º Dos estribos de presa, elevados 0,40 ÷ 0,50 metros sobre el nivel que ha de tener la presa.

3.º Algunas pilas ó apoyos intermedios, para interrumpir el tramo que haga falta.

4.º El aparato móvil, que se elevará hasta 0,20 ÷ 0,30 metros sobre el nivel del agua que se remansa.

279. *Puertas marineras.*—Las figuras 215, 216 y 217 representan una *puerta* ideada por el ingeniero Ponti. Constan de unas compuertas fijas á los estribos y pilas intermedias y que pueden abrirse del todo quitando un cerrojo especial (fig. 215) cuando haya de darse paso libre al agua. Cuando la elevación del agua es lenta, se regula un paso, quitando algu-

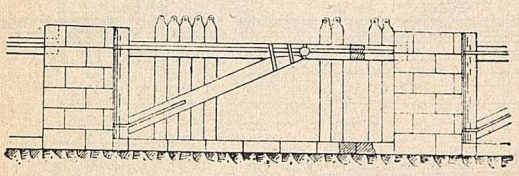


Fig. 216.

nos tablones de los tramos centrales. Este sistema sirve bien para presas de 3 ÷ 12 metros de longitud. La distancia entre las pilas no debe exceder de 6 ÷ 8 metros.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

280. *Presas Poirée.*—Con el sistema de presas Poirée, la distancia entre las pilas puede elevarse hasta 30 metros. Las figuras 218 y 219 la representan con todo detalle, y en las 220 y 221 representan el modelo de tableros que pueden emplearse con esta clase de presas.

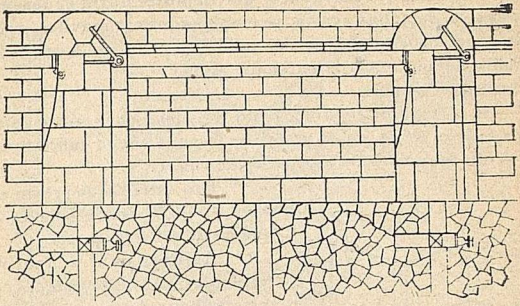


Fig. 217.

281. *Puertas giratorias Chanoine* (fig. 222).—Son sumamente sencillas, como se ve en la figura', y no requieren explicación especial en cuanto á su forma y modo de actuar.

Pueden hacerse de funcionamiento automático, colocando á la altura conveniente el eje de giro.

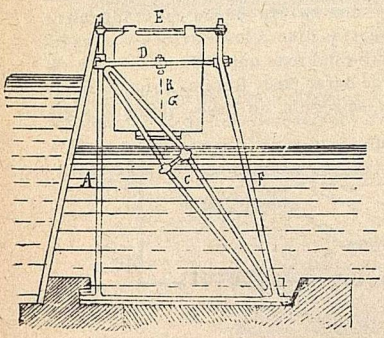


Fig. 218.

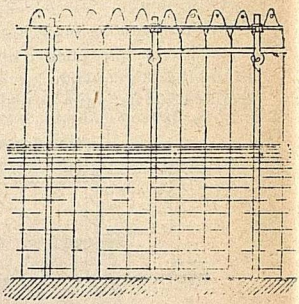


Fig. 219.

282. *Puertas giratorias Desfontaine* (fig. 223).—Aparece representada en la figura. Se ha aplicado con éxito en los canales navegables; pero tiene el inconveniente de constar de algunos

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mecanismos delicados que se descomponen bastante por la acción de las arenas.

283. *Cálculo de una compuerta ó alza de nivel constante.*— Este aparato tiene por objeto conservar á un nivel constante el líquido en sus recipientes, aunque varía la cantidad de agua que

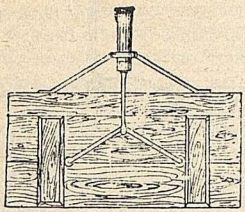


Fig. 220. Fig. 221.

afluye á él, regulando automáticamente la salida del agua (figura 224).

Consta de una compuerta plana rectangular AB, unida á un semicilindro circular recto, que puede rodar, *sin deslizar*, sobre

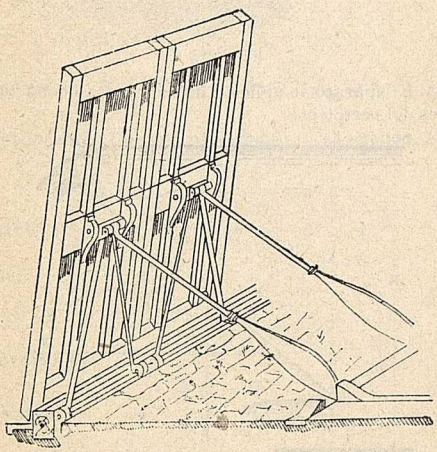


Fig. 222.

un plano horizontal OX. El eje del semicilindro coincide con una de las medianas de la compuerta, y el centro de gravedad del sistema está sobre el eje mismo; así que la línea de acción de la gra-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

vedad, encuentra siempre á la generatriz de contacto del semicilindro con el plano $O\,X$, cualquiera que sea la inclinación de la

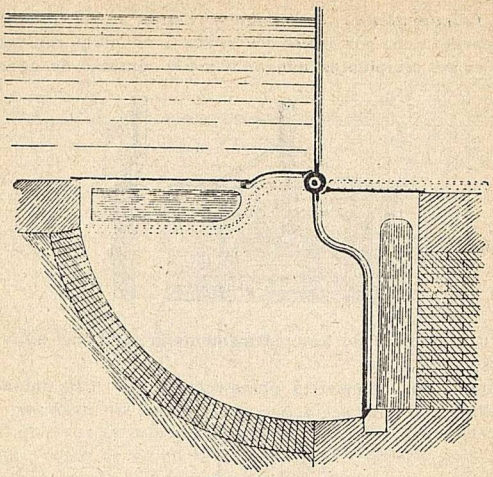


Fig. 223.

compuerta. El aparato se aplica á una abertura hecha en una de las paredes del recipiente.

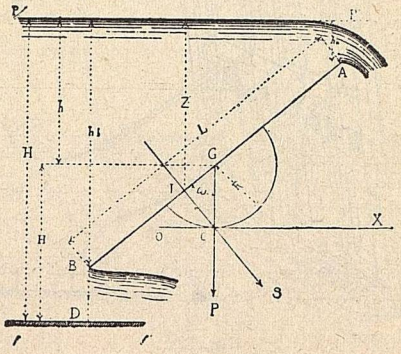


Fig. 224.

Cuando la compuerta está en la posición indicada en la figura, $p\,p'$ es el nivel líquido, S el empuje que ejerce el agua sobre la com-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

puerta, é I el centro de presión; y el agua sale á presión por la luz $B\,D$ y en vertedero por A; además, la dirección del empuje S encuentra á la geometriz de contacto C; evidentemente el sistema está en equilibrio. Si desciende el nivel, el centro de presión se desvía hacia B, y el empuje del agua hace girar la compuerta de modo que disminuyen, el ángulo ω, la luz del orificio con carga $B\,D$, y el espesor de la lámina del vertedero; el agua sale en menor cantidad, se eleva el nivel, el centro de presión se mueve hacia A, y la compuerta gira en sentido contrario, volviendo á su posición primitiva. Lo mismo sucede, pero con los movimientos inversos, si el nivel se eleva respecto á la posición $p\,p'$.

Prácticamente el semicilindro está constituido por semicoronas dentadas y el plano $O\,X$ por una cremallera, para evitar el resbalamiento; además, la compuerta oscila continuamente alrededor de su posición de equilibrio y lo mismo ocurre con el nivel del líquido.

Se recordará (Hidrostática) que

$$z = \frac{2}{3}\,\frac{h_b^3 - h_a^3}{h_b^2 - h_a^2}\,.$$

De la figura se deduce:

$$z = h + R\cos^2\omega\,;\quad h_b = h + \frac{L}{2}\cos\omega\,;\quad h_a = h - \frac{L}{2}\cos\omega\,.$$

Sustituyendo en la fórmula precedente y reduciendo, se tiene:

$$h + R\cos^2\omega = \frac{2}{3}\,\frac{3\,h^2\,L\cos\omega + \frac{L}{4}\cos^2\omega}{2\,h\,L\cos\omega} = h + \frac{L^2\cos^2\omega}{12\,h}$$

De donde:

$$R = \frac{L^2}{12\,h}\,.$$

Y observando que

$$h = H - H',$$

se tiene finalmente:

$$R = \frac{L^2}{12\,(H - H')}\,;$$

relación que sirve para calcular la compuerta.

Haciendo

$$L = 2\,h = 2\,(H - H'),$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la compuerta vertical aflora superiormente y deja pasar el agua por debajo; en este caso se tiene:

$$R = \frac{L}{6}.$$

294. *Cálculo de una compuerta ó alza de gasto constante.*— Tienen por objeto conservar constante el gasto de desagüe de un recipiente, aun cuando varíe el nivel del agua en dicho recipiente.

Esencialmente está constituído por una compuerta plana rectangular que puede rodar sin deslizar, apoyándose constantemente en una superficie cilíndrica recta de generatrices horizontales y teniendo una directriz especial $d\,d'$ (fig. 225). Se aplica á una abertura hecha en una de las paredes del recipiente; el lado superior de la compuerta siempre es más elevado que el nivel del líquido; el agua sale por la parte inferior. Cuando el nivel es máximo, la compuerta está vertical, y la altura h del orificio es

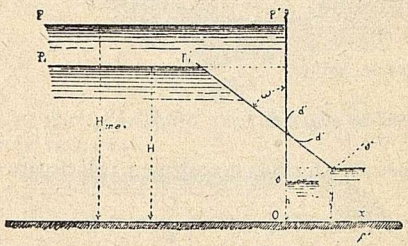


Fig. 225.

tal que el gasto es el elevado; si baja el nivel, gira la compuerta, porque el empuje del agua baja y la altura de la luz aumenta, de modo que da siempre el mismo gasto.

Para determinar la forma de la curva $d\,d'$, consideremos su evolvente $s\,s'$, y para ello se tendrá:

$$d\,s = \rho\,d\,\omega;$$

en la que

$$d\,s = \frac{d\,y}{\operatorname{sen}\omega}, \qquad \rho = \frac{1}{3}\,\frac{H-y}{\cos\omega}.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pero como para cualquier posición de la compuerta debe tenerse, considerando una porción de longitud s,

$$q = \mu\, y \sqrt{2\,g\left(H - \frac{y}{2}\right)},$$

y por ello

$$H = \frac{q^2}{2\,g\,\mu^2\,y^2} + \frac{y}{2},$$

poniendo

$$\frac{q^2}{2\,g\,\mu^2} = a^3$$

y sustituyendo en el valor de ρ, se tiene:

$$\frac{-\operatorname{sen}\omega\, d\,\omega}{\cos\omega} = 2\,\frac{-3\,y^2\,d\,y}{2\,a^3 - y^3}$$

integrando:

$$\log\cos\omega = \log\,(2\,a^3 - y^3) + C;$$

para

$$\omega = o : \cos\omega = 1, \quad y = h,$$

se obtiene:

$$C = -\log\,(2\,a^3 - y^3)^2.$$

Sustituyendo y pasando de los logaritmos á los números:

$$\cos\omega = \left(\frac{2\,a^3 - y^3}{2\,a^3 - h^3}\right)^2.$$

Pero por otra parte se tiene:

$$\frac{d\,y}{d\,x} = \operatorname{tg}.\,\omega = \frac{\sqrt{1 - \cos^2\omega}}{\cos\omega}.$$

Poniendo en ésta el valor de cos ω, se tiene la ecuación de la $s\,s'$, conocida la cual puede construirse fácilmente la curva $d\,d'$.

285. *Bocales de toma.*—Derivaciones libres.

Pueden hacerse:

1.º Cuando no se ha limitado la cantidad de agua que ha de derivarse.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

2.º Cuando el canal derivado se conserva durante un cierto trayecto bastante alto respecto al nivel de las máximas avenidas del cauce, para poder descargar en él el exceso de agua derivada por medio de aliviaderos de superficie.

Bocales regulados.—Generalmente son de forma rectangular y están formados por un umbral y dos estribos de fábrica (sillería ó mampostería), á veces de madera (en las derivaciones pequeñas), con cajas, en la que corre una compuerta de madera ó hierro que se maneja desde la parte superior (figura 226).

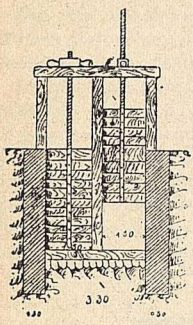


Fig. 226.

286. *Construcciones de toma de aguas.* En las grandes derivaciones, la toma de aguas se coloca á cierta distancia de las márgenes del río, interponiendo un trozo de canal de muy poca pendiente, provisto de aliviaderos de superficie, que restituyen al río el exceso de agua derivado. Este canal además defiende la toma de las crecidas y favorece el depósito de los arrastres de arena y grava; por eso se le llama también *canal moderador*.

Las construcciones para toma constan de una solera ó zampeado, en la que se apoyan los estribos, muchas veces acompañados

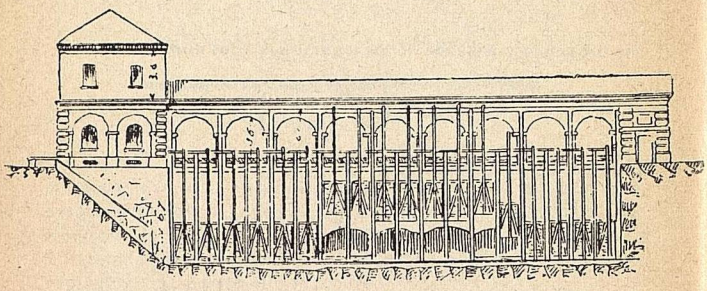


Fig. 227.

de muros en ala y una ó más pilas intermedias si hay varias luces.

La solera se dispone algo más elevada que la del canal, para impedir el paso de las arenas y gravas. Los vanos no deben tener luz mayor de 1,60 metros, para que sea fácil la maniobra de las compuertas; las armaduras de éstas, de madera ó hierro, para

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

poderlas reparar ó renovar fácilmente. Las compuertas, de madera ó hierro, ó de madera reforzadas ó armadas con hierro.

Para las derivaciones de gran importancia, sobre las compuertas hay un segundo orden de *compuertas altas*, y encima un paso ó puente de maniobras.

El puente de maniobras suele á veces cubrirse con un tejadillo ó construir una caseta.

Las compuertas se maniobran generalmente á brazo, con palancas, volantes ó tornillos.

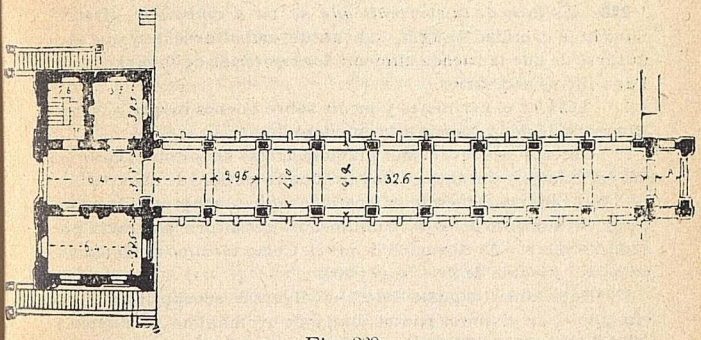


Fig 228.

Las figuras 227 y 228 representan una disposición de toma de aguas en el canal auxiliar Cavour. En la figura 213 aparece la disposición en conjunto de la presa y toma.

C).—*Derivación de depósitos ó embalses artificiales.*

287. *Localidad del depósito.*—Debe elegirse de modo que satisfaga todo lo posible á las siguientes condiciones:

1.ª Extensión máxima de la cuenca y mínima de la presa; el valle debe tener gran amplitud después del estrechamiento.

2.ª Hay que tener cuidado exquisito contra las filtraciones, fugas, etc.; conviene que el valle esté cubierto por una fuerte capa de arcilla, impermeable á la carga máxima de agua; el fondo y las márgenes deben ser rocosas y de gran espesor.

3.ª Tener próximas buenas canteras para los materiales de construcción de la presa. El transporte de materiales desde gran distancia, especialmente en las presas grandes, no es posible económicamente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Respecto al cauce de que se derivan los depósitos, pueden ser:

a) *Depósitos para represar en el cauce.*—Consisten en represar ó cerrar un valle por medio de una presa ó dique, interceptando el curso de las aguas, recogiéndolas en la época de crecidas para utilizarlas en riegos durante el estiaje.

b) *Depósitos laterales.*—Consisten en recoger lateralmente al río parte de sus aguas altas en un recipiente rodeado por diques, y del cual se desvía el agua para utilizarla en el estiaje.

288. *Estudio de la corriente que se va á embalsar.*—Determinada la cantidad de agua que ha de embalsarse, hay que asegurarse de que la cuenca alimentadora es capaz de suministrarla. Para ello es necesario:

1.º Señalar el perímetro y medir sobre buenos mapas ó planos la superficie de la cuenca alimentadora.

2.º Obtener observaciones pluviométricas de los observatorios más próximos y durante el mayor número posible de años.

Si hay observaciones de la localidad aguas abajo, puede admitirse un aumento de $60 \div 70$ milímetros de altura de lluvia por cada 100 metros de elevación de nivel. Como término medio se supone una pérdida de $30 \div 50$ por 100.

3.º Determinar el gasto del río en diversas épocas durante varios años y en distintos puntos, hallando el máximo, el mínimo y el medio anual ó módulo. Las variaciones del gasto con el tiempo, indicadas en diagramas, dan idea exacta y útil del régimen anual del torrente. Estos datos sirven para determinar la época en que debe hallarse lleno el depósito y para ver si el agua de alimentación es suficiente para llenarlo una vez sola ó varias veces con grandes ventajas económicas.

4.º Establecer ensayos y determinaciones experimentales sobre la cantidad de materias arrastradas por el agua *(coeficiente limométrico).*

289. *Capacidad del depósito ó embalse.*—La cantidad de agua disponible en la cuenca debe ser igual á la cantidad de agua necesaria para el riego de la zona elegida, más las pérdidas por evaporación y filtración.

Cantidad de agua necesaria para el riego (véase núm. 270).—Fijada la zona destinada á riego, al principio sólo se extiende á una parte de ella, que se supone generalmente es $\frac{45}{100}$ de toda la superficie regable durante los primeros años.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Evaporación.—Fórmula de los ingenieros Torricélli y Zoppi:

$$E = \frac{3}{5}\, e\, S \frac{V}{Q} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{Q\, t}{V} \right)^{5/3} \right\}.$$

E = cantidad de agua evaporada en el tiempo t.

e = evaporación por 1" en un metro cuadrado de superficie libre.

Puede suponerse: $e = \dfrac{0{,}0036 \div 0.005}{86.400}$.

S = superficie libre horizontal del remanso.

V = capacidad del embalse.

Q = gasto por 1" que ha de derivarse del embalse.

t = tiempo.

Como V depende también de E, se resuelve la fórmula por aproximaciones.

Filtración. -Las pérdidas por filtración, que se procura sean mínimas al principio, eligiendo bien la localidad, se van reduciendo á medida que el terreno se va consolidando con la misma presión del agua.

Puede admitirse que corresponden á una disminución de altura de agua de 0,06 ÷ 0,10 cada 24 horas, según la permeabilidad del terreno.

Capacidad efectiva del pantano.—Generalmente, atendiendo los criterios expuestos, se calcula el gasto efectivo disponible en la cuenca y se determina la altura de la presa y la amplitud del embalse, y descontadas las pérdidas, se fija la superficie regable.

Para medir la capacidad del embalse, se necesita un plano con las curvas de nivel cada 2 ÷ 4 metros. En el plano de emplazamiento de la presa se sitúan las curvas cada un metro. El volumen comprendido entre dos curvas sucesivas está dado por la semisuma de las áreas limitadas por esas curvas, multiplicada por la distancia entre ellas. Así puede conocerse el volumen de agua para cualquier cota de embalse.

Construyendo un diagrama que tenga por abscisas las alturas y por ordenadas los volúmenes correspondientes embalsados, y otro diagrama que para las mismas abscisas de los costes aproximadas correspondientes, podrá elegirse con más seguridad la altura de presa que dé el máximo efecto á menor coste.

290. *Conveniencia de uno ó más pantanos.*—Del diagrama precedente se ve si económicamente puede convenir un solo pantano en vez de dos ó más, porque los gastos generales crecen muy

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

poco al crecer la altura de la presa, y por consiguiente hay necesidad de elevar todo lo posible la capacidad del pantano.

Puede convenir la construcción de dos ó más pantanos (casos especiales) cuando:

1.º Haya en el cauce dos ó más localidades que ofrezcan un estrechamiento grande, ensanchándose mucho aguas arriba.

2.º Cuando haya temor á los perjuicios y daños que á las poblaciones inferiores pudiera ocasionarse en caso de rotura de la presa si la altura del embalse excede de cierto límite.

3.º Cuando las condiciones de resistencia del subsuelo en la localidad elegida para el primer depósito no ofrece suficientes garantías de solidez para elevar la presa más de cierta altura.

Presas de embalse.

291. *Presas de tierra.*—Se construyen para alturas inferiores á 20 metros.

Siendo h la altura de la presa, se calcula la longitud en la cresta con la fórmula

$$l = 3 + \frac{5}{17}(h - 3).$$

La altura entre el nivel del embalse y la coronación es de 0,90 ÷ 1,50 metros en los pantanos pequeños y de 2,00 ÷ 3,50 metros, sin contar el pretil (de fábrica, de un metro), para los grandes.

Perfil de aguas arriba.—Para las presas de poca altura, 1,50 de base por 1 de altura.

En las presas de altura media y grande se hacen dos planos inclinados, dando un talud menor al más bajo y conservando un talud uniforme de $^3/_2$ ó el talud de $^1/_1$, revestido de piedra en seco, en escalones de 1,50 ÷ 2,00 metros de ancho y alto. Para conseguir mayor ancho en la base, puede empezarse con el talud en el fondo de $^3/_1$ y acabar en la coronación con el de $^1/_1$.

Perfil de aguas abajo.—Lo forman una serie de planos inclinados y de banquetas; el talud es el natural de las tierras empleadas (fig. 229).

292. *Materiales y modo de construirlos.*—Se emplean con preferencia las tierras ordinarias bien elegidas, algo arcillosas y arenosas, conteniendo una parte de arcilla por una y media de arena, bien limpia de raíces, turba, hierbas, etc. Si no hay estas tierras próximas á la obra, conviene componerlas artificialmente ó modificar su estructura, mezclándolas con pequeñas cantidades

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de cal hidráulica en polvo ó en forma de lechada de cal. Las tierras se disponen por tongadas horizontales de 0,15 ÷ 0,20 metros de espesor, bien apisonadas y consolidadas.

Cuando no esté limitado el plazo de ejecución, conviene hacerlos en diversas campañas en años sucesivos.

El trabajo se suspende en el invierno, especialmente durante las heladas.

Puede obtenerse una economía notable haciendo rellenar el cuerpo de la presa por *entarquinamientos* sucesivos, como se

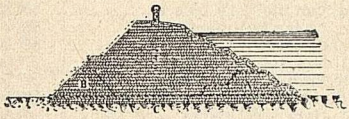


Fig. 229.

indica en la figura 229. Se empieza por construir los cuerpos *A* y *B*, es decir, dos presas de altura menor que la fijada y que formen parte de la presa; por medio de orificios de entrada y desagüe se obtiene un entarquinamiento. A la campaña siguiente se elevan las presas *A* y *B*, y así se continúa hasta alcanzar la altura deseada.

Este sistema ofrece las siguientes ventajas:

Técnicas.—Un asiento de los materiales mejor que el hecho con la consolidación artificial.

Económicas. — Como aumenta gradualmente la cantidad de agua derivable en relación con las sucesivas transformaciones de cultivo, crece también por grados la inversión del capital y los gastos de construcción, no exigiendo un anticipo grande de capital

293. *Presas de fábrica.—Condiciones de estabilidad.*—Las presas pueden construirse de fábricas mixtas. Se prefiere en general la mampostería bien trabada, compacta, de juntas interrumpidas, bien resistente á la compresión, empleando buen mortero de cemento.

Resistencia al deslizamiento.—Resiste en gran parte por la trabazón que producen las juntas interrumpidas. El coeficiente de rozamiento debe ser:

$$f = \frac{S}{P} < 0{,}76.$$

S = valor del empuje del agua $= \frac{1}{2}\ \omega\ h^2$.

P = peso de la fábrica en cada sección.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE DIVERSOS MATERIALES

MATERIALES	Angulo de rozamiento. — *Grados.*	Coeficiente de rozamiento.
Piedra sobre piedra (caliza de paramentos desbastados)	38º 30′	0,80
Idem labrada sobre roca natural	37º 20′	0.76
Idem, íd , íd. con mortero fresco	33º 30′	0,66
Caliza sobre caliza pulimentada	38º 0′	0,78
Granito sobre granito ídem	33º 20′	0,66
Muros de fábrica sobre arcilla seca	27º 00′	0,51
Idem, íd., íd. húmeda con arena	21º 50′	0,40
Idem, íd., íd., íd. y blanda	16º 50′	2,30
Idem, íd., íd. tierra ordinaria	29º 50′	0.57
Idem, íd., íd. de hormigón	37º 20′	0,76

Resistencia al giro ó vuelco y condición para que no haya tensiones.—Para la primera, el centro de presión de la resultante de todas las fuerzas en cada sección, supuesta rectangular y de espesor 1, debe caer dentro de la misma sección; para la segunda, el centro de presión debe estar contenido en el tercio central de la misma sección.

Resistencia al aplastamiento. - La presa reacciona según los materiales empleados.

Para las de fábrica de mampostería se supone un peso específico

$$\omega^1 = 2.200 \div 2.300,$$

y para el agua, muchas veces turbia,

$$\omega = 1.100 \div 1.300.$$

Supuesta lineal la ley de variación de las presiones unitarias normales en cada sección de ancho s y espesor 1, el valor de la presión unitaria en los paramentos exteriores está dado por

$$(66)\quad \lambda = \frac{2P}{s}\left(2 - \frac{3u}{s}\right); \quad \lambda^1 = \frac{2P}{s}\left(2 - \frac{3u^1}{s}\right);$$

en las que u y u^1 representan la distancia de la línea de acción de la resultante P á los paramentos respectivos.

Hay tres casos, según la posición del centro de presión. Las construcciones gráficas correspondientes se detallan en las figuras 230, 231 y 232.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

284. *Cálculo de la presa.—Perfil de aguas arriba y de aguas abajo.*—En función de las condiciones expuestas y que deben com-

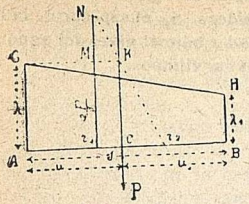


Fig. 230.

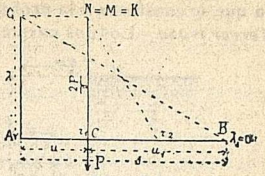


Fig. 231.

probarse, tanto á embalse lleno como á embalse vacío, se descompone la sección racional de la presa en cuatro zonas ó trozos (fig. 233).

Primer trozo.—Los dos paramentos verticales.

Espesor en la coronación ó cresta:

$$S_c = 1{,}35 + 0{,}07\ H.$$

Altura de la coronación sobre el nivel del embalse:

$$f = 0{,}15 + 0{,}07\ H.$$

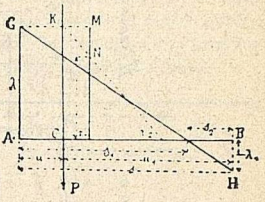


Fig. 232.

Estas fórmulas empíricas (en función de la altura total H de la presa) son las más comúnmente usadas en la práctica.

Para mayor sencillez, en las fórmulas siguientes se supone $f = o$, lo que favorece la solidez de la construcción.

Supuesta la condición de que el centro de presión en la sección inferior llegue al límite exterior del tercio central, se tiene:

(67) Altura de la primera zona: $h = \dfrac{S_c}{\sqrt{\delta}}$; siendo $\delta = \dfrac{\omega}{\omega_1}$.

Segundo trozo.—El paramento interior es vertical, y el exterior, curvilíneo.

Supuesta la condición de que el centro de presión á embalse lleno se conserve dentro del tercio central hacia el exterior, se determina la curva por trozos rectilíneos, dividiendo la zona en hiladas de espesor m con la fórmula

(68)
$$S_c = -\left(\frac{L\,A_1}{m} + S_1\right) + \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{L\,A_1}{m} + S_1\right)^2 + \frac{6\,M_1}{m} + \frac{d\,z^3}{m} + S_1^2}.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

A_1, M_1 y S_1 son, respectivamente, el área de la sección, el momento respecto al paramento interior y el espesor en la base de la hilada precedente á la que se considera. S_z el espesor de la hilada que se considera á la profundidad z bajo el nivel del agua.

Tercer trozo.—Los dos paramentos curvilíneos.

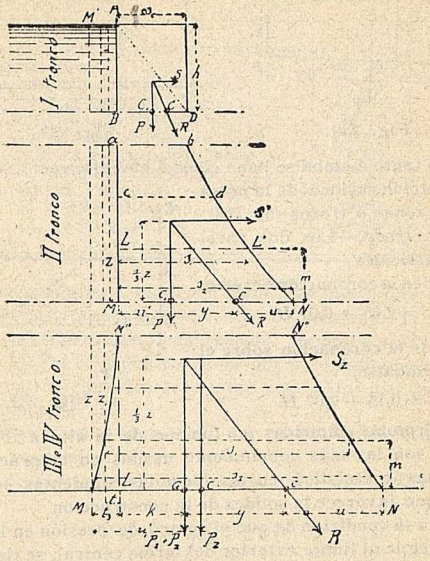


Fig. 233.

Empieza cuando $\lambda = \mu$, es decir, cuando la presión en el paramento exterior en carga es igual al límite de la carga permanente.

Se establecen entonces dos condiciones:

a) El centro de presión en carga está en el límite del tercio central.

b) La presión, en carga, en el paramento exterior se conserva igual á la presión á embalse vacío en el paramento interior:

$$t_z + k + y = \frac{z}{3} S_z \qquad \lambda = \lambda_1$$

Se ve en la figura que

t_z = incremento interior de la hilada que se considera.

k = distancia del centro de presión á embalse vacío á la vertical que corresponde al paramento interno del trozo precedente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y = distancia entre dos centros de presión á embalse vacío y lleno.

λ = presión en el paramento exterior á embalse lleno.

λ_1 = presión en el paramento interior á embalse vacío.

El cálculo se hace por hiladas, como para el trozo segundo; es algo más complicado.

Cuarto trozo.—Se opera análogamente, estableciendo la condición de que $\lambda = \lambda_1 = \mu$.

Siendo μ el límite de la carga permanente y prescindiendo de la condición de la tensión, que está satisfecha por sí, pues á grandes profundidades los centros de presión á embalse lleno y vacío tienden á caer en el tercio central.

La tabla siguiente contiene todos los elementos necesarios para determinar el perfil de una presa, suponiendo que el metro cúbico de fábrica pesa 2.300 kilogramos y que la presión en el interior del muro es siempre $<$ 8 kilogramos por centímetro cúbico:

H	a	s	Aguas arriba.			Aguas abajo.				S	b	V
			p_1	R_1	f	p	R	t	r			
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m^3
5	0,50	1,70	3,50	16	0,07	1,70	4	2,75	5	2,52	—	10,50
10	0,90	2,00	6,00	24	0,31	1,80	6	4,75	10	6,08	—	35,05
15	1,30	2,30	7,00	32	1,02	1,90	8	6,00	15	9,82	—	76,64
20	1,50	2,50	8,00	40	1,84	2,00	10	7,25	20	13,70	—	133,01
25	2,00	3,00	9,00	48	2,75	2,10	12	8 50	25	17 99	—	217,70
30	2,40	3,50	10,00	56	3,69	2,20	14	9 50	30	21,75	—	314,56
35	2,80	4,00	11,50	64	4 47	2,30	16	11,50	35	27.90	—	455,80
40	3,00	4,25	12,00	72	5,67	2.40	18	13,00	35	34 01	1	610,44
45	3,25	4,50	13.50	80	6,46	2,50	20	14,50	35	38,88	1	781,42
50	3.50	4,75	15,00	88	7,26	2,60	22	16,00	35	46,92	1	996,11
55	3,55	5,00	15,00	88	9,68	2,70	24	17,50	35	50,08	1	1202,50
60	3,60	5,10	15.00	88	12,41	2,80	26	19,00	35	56,82	1	1462,25
65	3,60	5,20	15,00	88	15,66	2.90	28	20.5	35	64,95	1	1768,90
70	3,60	5,30	15,00	88	19,36	3,00	30	22,00	35	72,66	1	2122,52

Para alturas comprendidas entre los límites de las de la tabla, pero que no figuran en ella, se interpola por medio de la fórmula

$$y_x = y_n + \frac{y_{n+1} - y_n}{H_{n+1} - H_n} (H_x - H_n);$$

en la que y_x es la dimensión que se busca, y_n é y_{n+1} las dimen-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

siones análogas correspondientes á las alturas H_n H_{n+1}, entre las que está comprendida la altura dada H_x.

295. *Perfil empírico de las presas.*—Para los perfiles de las presas conviene seguir las reglas de Crugnola en su notable monografía.

Alturas hasta de 50 metros.—Es racional la siguiente fórmula (fig. 234):

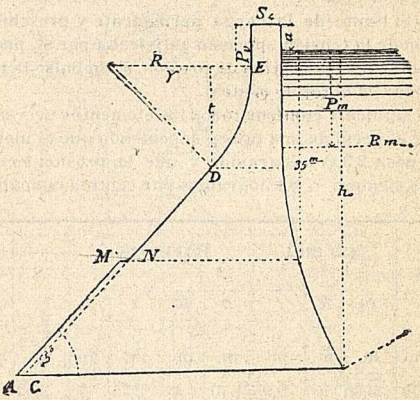


Fig. 234.

Sea S_c = el espesor en la coronación; a = altura de la presa sobre el mayor nivel del agua de altura h.

Se tiene:

$$S_c = 1{,}35 + 0{,}07\ h \quad (a)$$

$$a = 0{,}15 + 0{,}07\ h \quad (b)$$

El paramento vertical de aguas abajo se deduce de

$$P_v = 1{,}60 + 0{,}02\ h.$$

El paramento vertical de aguas arriba P_m, medido bajo el nivel máximo de agua,

$$P_m = 4 + 0{,}20\ h$$

para $h \leqq 40$ metros, y de la

$$P_m = 0{,}30\ h$$

para $h = 40 \div 50$ metros.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Inferiormente á este trozo vertical, el paramento de aguas arriba es un arco de círculo, cuyo radio R_m está dado para $h \leqq 40$ metros por la

$$R_m = 8{,}00 + 1{,}60\ h;$$

y para $h = 40 \div 50$ metros, por la

$$R_m = 8{,}00 + 1{,}31\ h.$$

El paramento de aguas abajo, inferior al trozo vertical P_v, consta de un arco de círculo y una recta tangente á éste en un punto inferior. El radio del arco R_v está dado por la

$$R_v = 2 + 0{,}4\ h,$$

y la longitud del arco se limita á la distancia t del radio inicial, siendo

$$t = 2{,}25 + 0{,}25\ h$$

para $h \leqq 25$ metros, y de la

$$t = 1{,}00 + 0{,}30\ h$$

para $h = 25 \div 50$ metros.

La parte inferior del paramento de aguas abajo estará dada por la tangente dicha para $h \leqq 35$ metros, y para $h = 35 \div 50$ metros se hace una banqueta $M\,N$ á la profundidad de 35 metros del máximo nivel. Este tipo de diques se aproxima muchísimo entre los límites citados á los tipos racionales.

Los elementos expuestos bastan para el cálculo de una presa racional, y sobre estas condiciones se han propuesto algunas presas de doble paramento parabólico. Genty da las siguientes fórmulas para el cálculo de las diversas partes.

Sea h la altura de la presa, sin que haya que ocuparse de la elevación de la presa sobre el nivel del agua, que, si es necesario, puede establecerse con la *(a)*. Sea S_0 el espesor (dado) en la coronación, que también puede determinarse con la *(a)*. Se empieza por trazar (fig. 235) dos ejes ortogonales $x\,x'$, $y\,y'$, que se cortan en O_0. Se toma $O_0\,C$ y $O_0\,B$ igual á $\frac{1}{2}\,S_0$ y se trazan los $B\,O$ y $C\,O_1$, paralelos á y é iguales á h.

Después se toma $B\,A = \frac{h}{2}$, que se designa por X, y $C\,D = \frac{h}{10}$, por X_1.

Hecho esto, se divide la altura h en el número de partes iguales

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que se quiera, ó se trazan en el muro secciones horizontales á una profundidad z que sea conocida para cualquier sección.

Considérese una sección $I\ W$; sean:

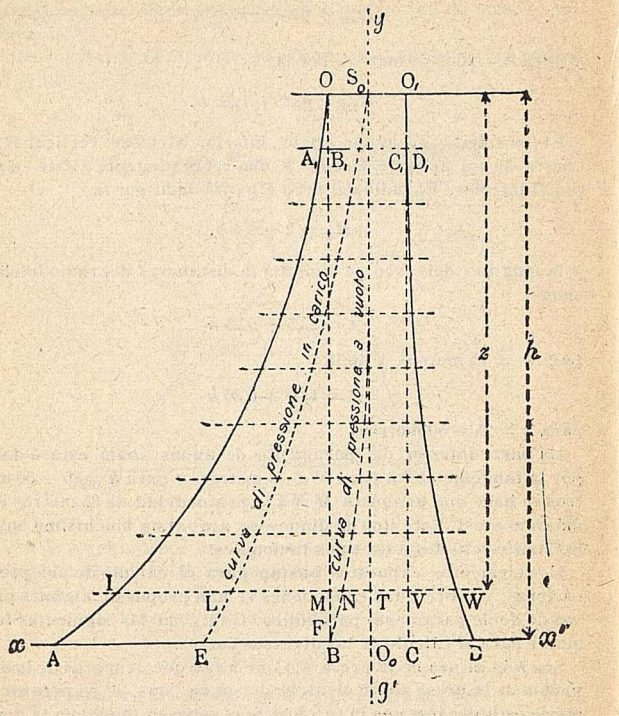


Fig. 235.

x = distancia $I\ M$ del extremo I de la proyección vertical del punto O sobre el plano de la sección.

x_1 = distancia $V\ W$ del extremo W de la proyección V del punto O_1 sobre el plano mismo.

K = distancia $N\ T$ del punto T á N, que es la intersección de la sección con la curva de presiones en vacío, ó sea del eje $y\ y'$.

K_1 = distancia $L\ T$ del punto L á T, que es la intersección de la sección con la curva de presiones en carga, ó sea de $y\ y'$.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

P_z = peso de la parte de muro superior á la sección en la longitud de un metro.

ω^1 = peso específico de la fábrica.

P^1_z = presión vertical del agua.

ω = peso específico del agua.

A_z = área de la sección transversal de la fábrica, superior á la sección horizontal que se considera.

S_z = espesor de la presa en la sección horizontal que se considera.

S_0 = espesor de la presa en la coronación.

Las diversas partes se calculan con las fórmulas siguientes:

Para los dos perfiles, se tiene:

$$x = \frac{X}{h^2} z^2; \qquad x_1 = \frac{X_1}{h^2} z^2.$$

Para el espesor, se tiene:

$$S_z = S_0 + x + x_1.$$

Para el área transversal de la fábrica superior:

$$A_z = \frac{z}{3} (S_z + 2 So).$$

El peso de la parte de presa sostenida por esta sección será para la longitud de un metro:

$$P_z = \omega' A_z.$$

Para el encuentro de las curvas de presiones en vacío, se tendrá:

$$K = \frac{x - x_1}{10} + \frac{3 S_z + 2 S_0}{S_z + 2 S_0}.$$

El empuje horizontal del agua está expresado por $e = \frac{1}{2} \omega z^2$ y la presión vertical será:

$$P'_z = \frac{2}{3} \omega x_1 z.$$

La distancia del eje de las y al punto de intersección de las curvas de presiones con el depósito lleno, será:

$$K_1 = \frac{S_0}{2} + \frac{2}{5} x_1.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se deduce que la presión vertical total P''_g será la suma de la presión vertical del muro, más la del agua, y la distancia K_2 de su punto de acción á y y' será:

$$K_2 = \frac{P_g\ K - P'_g\ K_1}{P_g - P'_g};$$

ó también:

$$K_2 = \frac{\dfrac{(x - x_1)}{10}\left\{3\,(x_1 + x) + 5\,S_0\right\} - 2\,x_1\,\dfrac{\omega}{\omega^1}\left(\dfrac{S_0}{2} + \dfrac{3}{5}\,x_1\right)}{x + \left(1 + 2\,\dfrac{\omega}{\omega^1}\right)x_1 + 3\,S_0}$$

La resultante del empuje horizontal $S = \dfrac{1}{2}\,\omega^1\,h^2$ y de la P''_g encontrará al plano de la sección en un punto que será el centro de presión. La distancia de éste al punto de acción de la P''_g será K_3.

$$K_3 = \frac{S}{3}\,\frac{g}{P''_g}.$$

Llamando u la distancia del centro de presión en carga al paramento exterior, será:

$$u = \frac{S_0}{2} + x - (K_2 + K_3).$$

Expuestas con las fórmulas que sirven para comprobar la estabilidad, y dividida la sección de la presa como se ha dicho, es indiferente empezar el cálculo de las dimensiones ó la comprobación en cualquier punto ó á la altura que se quiera.

Fórmulas de Bellet para el cálculo de presas de fábrica de perfil triangular (fig. 236).

Sean:

H = altura de la presa hasta la coronación.

h = altura de la lámina de agua que vierte por la coronación (medida fuera del *tiro de caida*).

Valor del empuje del agua (cuando vierte por la coronación):

$$E = \frac{H^2}{2} + H\,h.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Punto de aplicación del empuje á una distancia z sobre la junta horizontal que se considera:

$$z = \frac{H}{3} - \frac{H + 3h}{H + 2h}.$$

Cuando la altura del agua enrasa con la coronación, se tiene:

$$E = \frac{H^2}{2}; \qquad z = \frac{H}{3}.$$

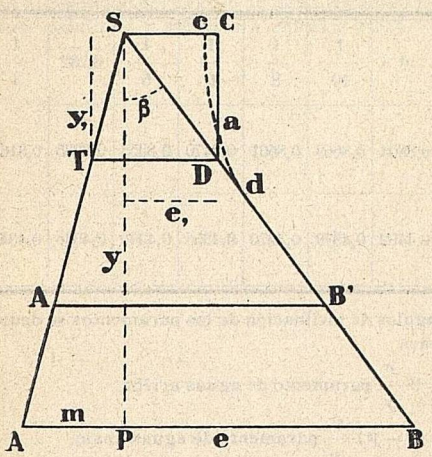


Fig. 236.

Si el nivel del agua está á una altura H' menor que la de la presa, se tendrá:

$$E = \frac{H'^2}{2}; \qquad z = \frac{H'}{3}.$$

Espesor en la base de la presa.

$$e = \frac{y}{\sqrt{k - \gamma - \mu(\mu + k - 2) + k\,\eta^2 \dfrac{2 - 3\mu - 2\eta}{1 - \mu}}};$$

en la que

$$\mu = \frac{m}{e}; \qquad \eta = \frac{e_0}{e}.$$

k = densidad de la fábrica con que se hace la presa.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

$\gamma = \frac{n'}{y}$, siendo n la presión máxima en el paramento de aguas abajo.

El cuadro siguiente demuestra cómo varían las relaciones $\frac{e}{y}$ y la $\frac{S}{y^2}$ del perfil para $\mu = 0{,}03$ (valor generalmente admitido); $\gamma = 1$ y $k = 2.3$:

$\eta =$	0	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	0,232	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$
$\frac{e}{y}$	0,8804	0,8669	0,8601	0,8470	0,8353	0,8235	0,8168	0,7862
$\frac{S}{y^2}$	0,4402	0,4379	0,4370	0,4356	0,4349	0,4346	0,4347	0,4381

Los ángulos de inclinación de los paramentos se deducen de las expresiones

tg $\beta_1 = \mu \frac{e}{y}$ paramento de aguas arriba.

tg $\beta = (1 - \mu) \frac{e}{y}$ paramento de aguas abajo.

Presiones máximas y mínimas en los paramentos de aguas arriba y aguas abajo:

$$\left.\begin{aligned} n' &= \frac{N_1}{e}\left(6\frac{b}{e} - 2\right) \\ n'' &= \frac{N_1}{e}\left(4 - 6\frac{b}{e}\right) \end{aligned}\right\} \text{á embalse lleno.}$$

$$\left.\begin{aligned} n'' &= \frac{N}{e}\left(6\frac{d}{e} - 2\right) \\ n' &= \frac{N}{e}\left(4 - 6\frac{d}{e}\right) \end{aligned}\right\} \text{á embalse vacío.}$$

N_1 = fuerza vertical que actúa en la hilada.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

b = distancia del punto de aplicación de la resultante al paramento de aguas abajo.

e = espesor de la presa en la hilada que se considera.

N = fuerza vertical que actúa en la hilada.

d = distancia entre el punto de aplicación de N y el paramento de aguas arriba.

Ejemplos.—La presa del pantano de Bolarque, hoy construida, se ha calculado por las fórmulas de Bellet; en el cuadro siguiente se consigna el resultado del cálculo de todas las dimensiones y de las presiones máximas y mínimas á embalse vacío y embalse lleno.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

SALTO DE BOLARQUE

Cuadro resumen del cálculo

Hiladas.....	Base superior. Ancho — Metros.	Base inferior. — Metros.	Superficie. — Metros^2	Altura de la hilada. — Metros.	Volumen. — Metros^3	Peso de cada hilada. — Kilogramos	Pesos totales en cada hilada. — Kilogramos.	Altura del agua.	Empuje del agua. — Kilogramo.
I	5,70	5,70	2,85	0,50	2.850	6.840	6.840	0,5	125
II	5,70	5,72	5,71	1,00	5.710	13.684	20.524	1,5	1.125
III	5,72	5,78	5,75	1,00	5.750	13.800	34.234	2,5	3.125
IV	5,78	5,88	5,83	1,00	5.830	13.992	48.316	3,5	6.125
V	5,88	6,04	5,96	1,00	5.960	14.304	62.620	4,5	10.125
VI	6,04	6,32	6,18	1,00	6.180	14.832	77.452	5,5	15.125
VII	6,32	6,72	6,52	1,00	6.520	15 648	93.100	6,5	21.125
VIII	6,72	7,18	6,95	1,00	6.950	16.680	109.780	7,5	28.125
IX	7,18	7,82	7,50	1,00	7.500	18.000	127.780	8,5	36.125
X	7,82	8,62	8,22	1,00	8.220	19.728	147.508	9,5	45.125
XI	8,62	9,46	9,04	1,00	9.040	21.696	169.204	10,5	55.125
XII	9,46	10,30	9,88	1,00	9.880	23.712	192.916	11,5	66.125
XIII	10,30	11,14	10,72	1,00	10.720	25.728	218.644	12,5	78.125
XIV	11,14	11,98	11,56	1,00	11.560	27.744	246.388	13,5	91.125
XV	11,98	12 81	12,195	1,00	12.195	29.268	275.651	14,5	105.125
XVI	12,81	13,64	13,225	1,00	13.225	31.740	307.391	15,5	120.125
XVII	13,64	14,48	14,06	1,00	14.060	33.744	341.135	16,5	136.125
XVIII	14,48	15,32	14,90	1,00	14.900	35.760	376.895	17,5	153.125
XIX	15,32	16,15	15,375	1,00	15.375	36.900	413.795	18,5	171.125
XX	16,15	16,98	16.565	1,00	16.565	39.756	453.551	19,5	190.125
XXI	16,98	17,82	17,400	1,00	17.400	41.760	495.311	20,5	210.125
XXII	17,82	18,66	18,24	1,00	18.240	43.776	539.087	21,5	231.125
XXIII	18,66	19,50	19,08	1,00	19.080	45.792	584 879	22,5	253.125
XXIV	19,50	20,24	19,92	1,00	19.920	47.808	632.687	23,5	276.125
XXV	20,34	21,17	20,755	1,00	20.755	49.812	682.499	24,5	300.125
XXVI	21,17	22,00	21,585	1,00	21.585	51.804	734.303	25,5	325.125

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PRESA CONSTRUIDA

de estabilidad y presiones.

Presión hidrostática. — K. por cm.²	Tercio de la junta.	EMBALSE VACIO			EMBALSE LLENO		
		distancia del punto de aplicación de la resultante á la arista de aguas arriba.	Presión máxima. — K. por cm.²	Presión mínima. — K. por cm.²	Distancia del punto de aplicación de la resultante á la arista de aguas abajo.	Presión máxima. — K. por cm.²	Presión mínima. — K. por cm.²
0,05	1,90	2,85	0,12	0,12	2,79	0,1275	0,1124
0,15	1,906	2,86	0,3688	0,3688	2,76	0,3928	0,3248
0,25	1,926	2,86	0,607	0.5773	2,76	0,6786	0,5057
0,35	1,96	2,88	1,152	0,4913	2,83	0,9145	0,7288
0,45	1,013	2,913	1,1486	0.924	2,833	1,2315	0,8418
0,55	2,106	2,946	1,4755	0,9754	2,976	1,4068	1,0441
0,65	2,24	3,02	1,8069	0 9642	3,19	1,5959	1,1748
0,75	2,393	3,113	2,1389	0,9188	3,433	1,7307	1,337
0,85	2,606	3,186	2,4804	0,7875	3,766	1,8153	1,4526
0,95	2,873	3,343	2,8645	0,5578	4,283	1,7437	1,6886
1,05	3,153	3,473	3,2127	0,3612	4,833	1,9052	1,6718
1,15	3,433	3,683	3,4734	0,2723	5,313	2,0422	1,7035
1,25	3,713	3,873	3,7566	0.1685	5,793	2,1983	1,7268
1,35	3,999	4,113	3,5900	0,1231	6,213	2,2861	1,8270
1,45	4,270	4,35	4 2229	0,0824	6,63	2.3782	1,9251
1,55	4,546	4,616	4,4542	0,0527	6,986	2,4118	2,0889
1,65	4,826	4,876	4,6621	0,0480	7.406	2,5168	2,1933
1,75	5,106	5,146	4.8846	0,0369	7,806	2,6013	2,3202
1,85	5,383	5,423	5,0855	0.0376	8,183	2,6648	2,4593
1,95	5,66	5,69	5,3136	0.0283	8,58	2,7559	2,5866
2,05	5,94	5,97	5,5585	0,028	8,98	2,8447	2,71408
2,15	6,22	6,24	5,7575	0,0184	9,34	2,8972	2,8787
2,25	6.50	6,52	5,9691	0,0182	9,70	2,9475	3,0398
2,35	6,78	6,80	6,1148	0,0177	10,00	3,9202	3,9123
2,45	7,056	7,066	6,4392	0,0083	10,476	3,3233	3,1241
2,55	7,333	7,343	6,6660	0,0086	10,873	3,4544	3,2208

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

295 bis. *Presas de hormigón armado.*—El distinguido Ingeniero de Caminos D. Juan M. Zafra, ha hecho un notable estudio del tipo de presas de hormigón armado (1).

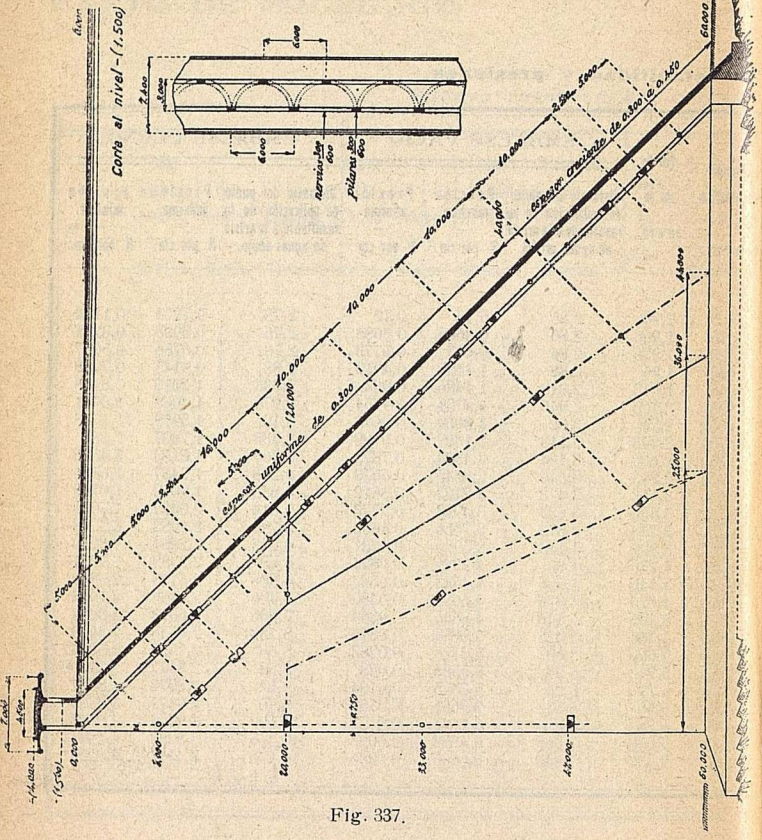


Fig. 337.

(1) Para el estudio de la teoría y detalles completos véanse las obras del Sr. Zafra «Construcciones de hormigón armado» y la conferencia «El hormigón armado y los grandes embalses».

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El tipo de presa está constituído por una pantalla, inclinada á 45°, sostenida por contrafuertes, que forman triángulos isósceles.

La pantalla se compone de una serie de bóvedas cuya sección horizontal es semicircular; el trabajo á que está sometido es de compresión, salvo una flexión pequeña, debida á las diferencias de profundidad en las secciones verticales.

Los contrafuertes de forma casi tetraédrica, tienen espesores creciente regularmente, según la profundidad y del paramento de aguas arriba al de aguas abajo, y siempre el mínimo para cada cota de profundidad (fig. 239).

Las figuras 237 y 238 representan la sección vertical y la planta de esta disposición.

El estudio detenido del sistema, da las *líneas isostáticas* de tensiones y presiones.

Las armaduras se disponen (fig. 240) en función de las primeras y el número de barras se ajusta á las variaciones de intensidad en las tensiones y á las superficies en que se desarrollan.

Las trayectorias de las compresiones (fig. 241) sirven para establecer, de un modo razonado, y no empíricamente, el número, sección y distribución de las riostras necesarias y suficientes para evitar las flexiones en los contrafuertes, teniendo en cuenta las variaciones de intensidad de las presiones y el espesor de la sección correspondientes.

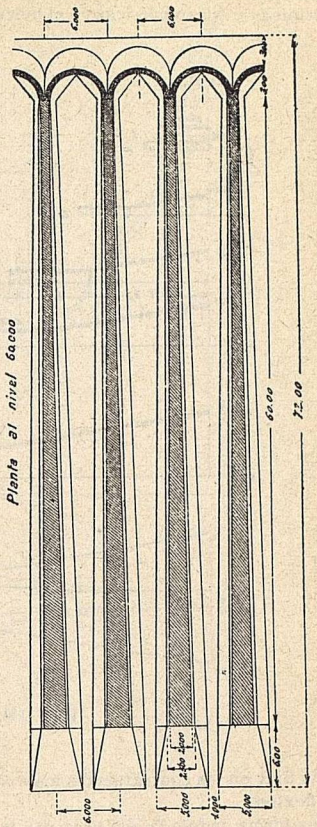


Fig. 238.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El arriostrado es discontinuo; se coloca en tramos alternos (en la fig. 240 se ven indicados por los signos *O* y *O*). Nada tiene de caprichosa esta distribución; obedece á un estudio razonado; en vista de las variaciones de longitud, debidas á las oscilaciones térmicas é higrométricas en el hormigón; evita las grietas, y per-

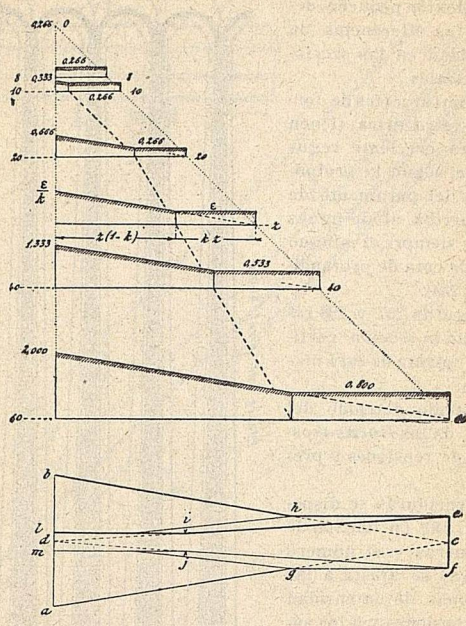


Fig. 239.

mite fijar en los contrafuertes los *nodos* necesarios para impedir la flexión.

La forma ondulada que presenta la pantalla, se presta admirablemente á las variaciones de longitud, sin que se produzcan efectos anormales, ni haya tendencia á agrietarse.

Se consigue la impermeabilidad, no sólo por las condiciones del hormigón sino porque el trabajo principal es una compresión fuerte.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

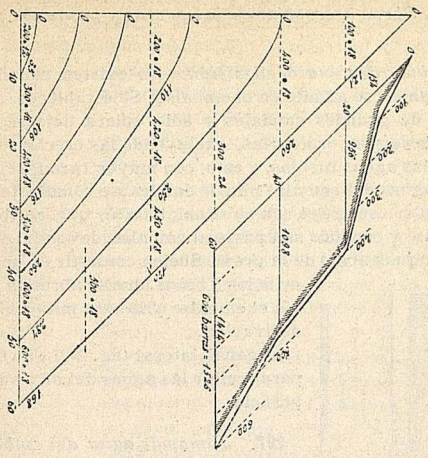


Fig. 240.

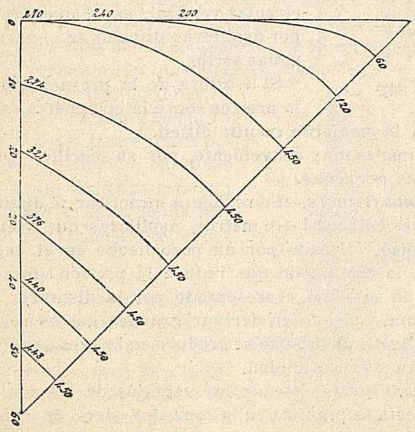


Fig. 241.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Obras accesorias de las presas y pantanos.

296. *Obras de toma ó admisión.*—No existen cuando toda el agua del cauce se admite en el embalse. Se establecen cuando se disponga de grandes caudales y sólo quiera dejarse entrar al embalse las aguas ordinarias, excluyendo las crecidas, para que no pasen las aguas turbias, y esto, con mayor razón, si gran parte de las aguas del embalse han de emplearse como potables.

La toma se construye con un canal lateral, que recibe el agua del torrente y conduce una parte al embalse, devolviendo el resto al cauce, aguas abajo de la presa. Suelen consistir en una serie de orificios ó bocas, que se abren la mitad hacia el embalse y la otra mitad al canal de derivación.

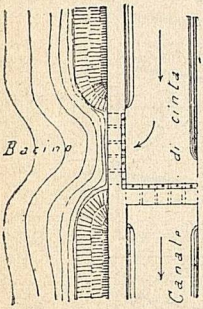


Fig. 242

El canal lateral (fig. 242) sirve también para recibir las aguas del aliviadero de superficie.

297. *Tomas de agua del embalse.*

a) *Sistema español.*—Consiste en una galería practicada en la presa en el fondo del embalse y que comunica con un pozo circular vertical, en el que entra el agua por aspilleras situadas en el paramento de aguas arriba.

Si la altura de la presa es muy grande, la presión sobre la compuerta es muy considerable, y la maniobra resulta difícil.

Este sistema es muy conveniente, por su sencillez y economía, en las presas pequeñas.

b) *Sistema francés.*—Se reduce á practicar á distintas alturas, distantes entre sí $4 \div 6$ metros, aspilleras que vierten en un conducto único, formado por un pozo hecho en el cuerpo de la presa; tiene la ventaja de que reduce la presión sobre las compuertas á un máximo, representado por la distancia á la compuerta misma, y se pueden derivar grandes gastos regulando la salida; el aligeramiento que se produce en la presa en varios puntos perjudica á su estabilidad.

c) *Sistema mixto.*—Reune las ventajas de los dos sistemas, pues la galería se practica en la zona que sirve de cimiento á la presa y á $10 \div 15$ metros por debajo del fondo del embalse.

Esta galería está alimentada por un pozo circular ó *torre de*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

toma de aguas, construído en el embalse ó adosado á la presa. En el paramento de la torre se hacen cuantos mechinales se quiera, provistos de compuertas de funcionamiento automático y dispuestos según una línea helicoidal, á la que en el interior se adosa una escala de acceso á las galerías de maniobra de las compuertas (fig. 343).

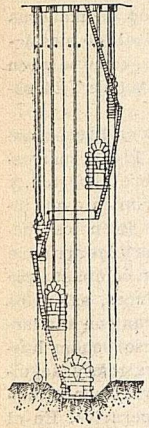


Fig. 243.

Las ventanas ó mechinales se colocan como vertederos cuya altura sea igual á la del orificio.

Cuando el nivel del agua desciende bajo el borde superior, empiezan á funcionar como orificios con carga las inferiores, y las compuertas regulan el orificio de las inferiores, de modo que integran el gasto de las superiores á medida que éste disminuye por descender el nivel.

Puede construirse un diagrama que dé la altura de elevación de las compuertas en función del nivel del agua en el embalse, para obtener un gasto constante.

La maniobra puede ser automática, y para ello hay varios sistemas de compuertas oscilantes de gasto constante, ó movidas á brazo, y, en este caso, en lo alto de la torre de toma debe haber señales que indiquen en cualquier momento la altura de las compuertas y el nivel del agua, y regulará las primeras en función de la segunda.

La torre de toma debe tener en el punto más bajo una galería de desagüe, independiente, para poder vaciar el embalse en casos de reparación; se utiliza también para evacuar el agua de las crecidas durante la construcción del embalse.

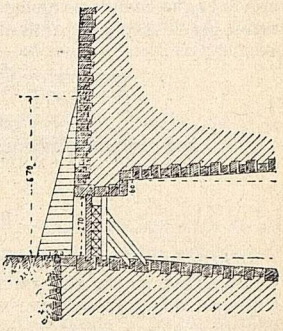


Fig. 244.

298. *Aliviaderos ó desaguadores de fondo.*—Generalmente consisten en una ó dos galerías, practicadas en la roca de cimentación, de 1,50 ÷ 2,00 metros de altura y ancho, y cuya base se encuentra en el punto más bajo del embalse, y va ensanchando hacia el exterior. La descarga ó

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

desagüe, debe hacerse á intervalos variables, pues depende de los sedimentos. Generalmente se hacen las limpias cada 4 á 5 años ó más tarde.

a) Sistema especial ó desarenador.—Está representado en la figura 244; consta de un portón formado con maderos verticales de 0,30 × 0,30 metros de escuadría y un contraportón de maderas horizontales, sostenidas por otras tres piezas verticales ó pies derechos de igual escuadra, provistos de tornapuntas, como se ve en la figura que representa el desarenador del pantano de Tibi, sobre el río Monegre, provincia de Alicante.

Para efectuar una limpia (lo que en este pantano se hace cuando la altura del tarquín ó sedimento llega á ser de 12 á 16 metros) se desarma el contra portón, para dejar acceso libre al portón, y se va debilitando éste hasta que se note algún movimiento que indique el descenso del légamo, en cuyo momento salen los operarios, pues el empuje acaba de romper los maderos y los arrastra en la corriente de fangos. Si el sedimento fuese tan compacto que después de cortado el portón aparece sólido, entonces, salen los operarios y desde la coronación de la presa procuran con una larga barrena (de 18 metros y ~ 500 kilogramos de peso) sondar hasta el fondo; el fango empieza á salir llenando la galería y, seguidamente, lo hace el agua con velocidad enorme, arrastrando todo el légamo. Este sistema es peligroso para los operarios. En el pantano de Elche se mejoró el modo de abrir el portón, evitando el peligro á los obreros.

b) Sistema de aberturas parciales.—Consiste en utilizar para el desagüe total una descarga parcial del embalse con economía del agua cuando no abunda ésta. Se han propuesto varios métodos, pero todavía no están bien sancionados por la práctica.

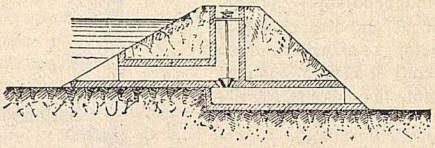


Fig. 245.

En las presas de tierra la toma y evacuación del agua se hacen con facilidad, en una sola galería que comunica con un pozo central, que en la parte superior lleva el mecanismo para abrir una válvula cónica de cierre (figura 245).

299. *Aliviaderos de superficie.*—Deben ser capaces de evacuar el agua de las crecidas. Se utiliza, además, siempre el desaguador

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de fondo, con el doble objeto de reducir las dimensiones del aliviadero de superficie y arrastrar algo de los sedimentos.

Se componen de un desaguador y un aliviadero. El desaguador está provisto de compuertas con el umbral, sobre el fondo, á la altura necesaria para evacuar el volumen fijado, y calculadas para que resistan al empuje del agua y á la acción de las ondas.

El aliviadero puede tener el umbral libre y mejor provisto de compuertas automáticas, próximamente á un metro bajo la altura del máximo embalse; el paramento de aguas abajo tiene perfil sinosoidal. La longitud se calcula como para un vertedero normal. Salvo casos excepcionales, no debe nunca hacerse el aliviadero de superficie en la presa, porque perjudicaría á su estabilidad y conservación.

300. *Canal de descarga.*—Debe tener una pendiente muy fuerte, y como consecuencia, una velocidad muy grande hasta 10 metros por 1". A veces se hacen con la solera escalonada ó con pozos para disminuir el efecto del choque de la cascada. Si hay cerca otro cauce que vaya á desembocar aguas abajo del cauce embalsado, conviene verter en él las aguas procedentes del aliviadero. En caso contrario, se continúa el canal por la ladera hasta llegar al cauce, aguas abajo de la derivación.

301. *Inconvenientes de los pantanos.*

1.° Posibilidad de rotura de la presa.
2.° Influencia sobre el clima de la localidad.
3.° Filtraciones.
4.° Aterramientos.

Teniendo gran cuidado en la elección de la localidad, y en el proyecto y construcción de la obra, pueden evitarse, en gran parte, estos inconvenientes y peligros.

Canales de conducción á los terrenos regables.—Obras de arte. Medición del agua para riegos.

302. *Canales de riego.*

Clasificación. – Los canales de riego pueden clasificarse en varias categorías: 1.ª Canales principales. 2.ª Canales conductores, derivadores ó secundarios. 3.ª Canales distribuidores. 4.ª Colectores, escurridores ó azarbes.

Los canales distribuidores dividen el terreno en un cierto número de parcelas ó predios, cuya extensión depende de la cantidad de agua de que se dispone, del sistema de riego y de la permeabilidad del terreno.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pérdidas por evaporación y filtración. (Véase número 94.)
Cálculo de la sección y elección de la más económica. (Véanse números 97 á 101.)

303. *Derivación de los canales secundarios.*—Las derivaciones secundarias del canal principal se hacen sencillamente con *bocales* provistos de compuertas, como el representado en las figuras 246 y 247.

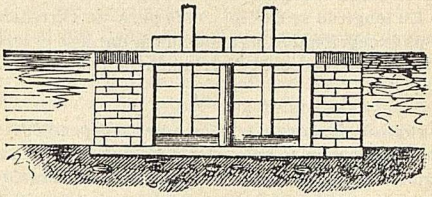


Fig. 246.

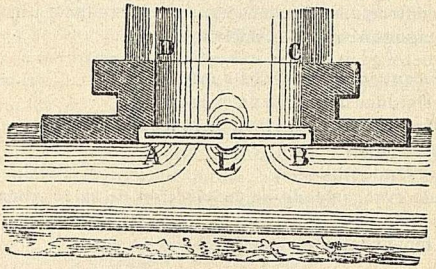


Fig. 247.

Cuando la toma es de cierta importancia, se construye de fábrica, y sobre caballetes se montan uno ó dos tornos que, por medio de cadenas mueven las compuertas. Existen muchos tipos de mecanismo con este objeto; las compuertas metálicas son muy convenientes, pues cierran ajustando perfectamente y están montadas sobre bastidores fuertes, de modo que resistan los choques y presiones y cierren bien, para evitar pérdidas de agua.

Las figuras 248, 249 y 250 representan los alzados de aguas arriba y aguas abajo, y la planta de una derivación en el canal Villoresi.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

304. *Toma de agua en los canales terciarios.*—Las derivaciones de orden inferior se hacen en muchos sitios de construcciones provisionales de madera reducidas á pies ó pilotes *a b*, *c d*, *l m* y *n o* (fig. 251), en los que se apoya la compuerta.

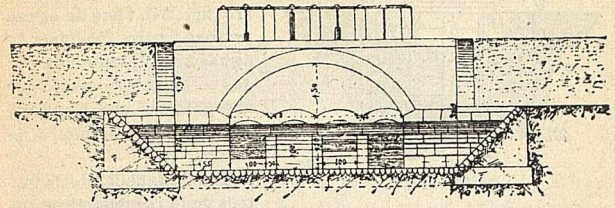


Fig. 248.

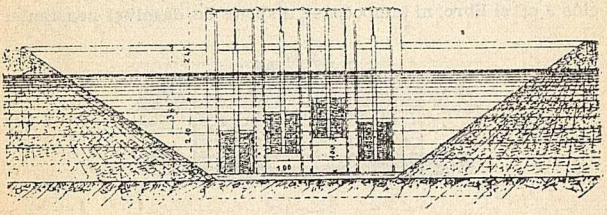


Fig. 249.

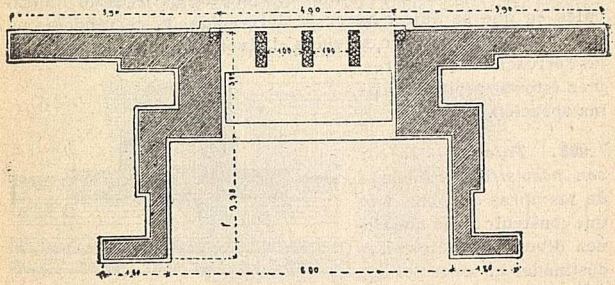


Fig. 250.

En la provincia de Emilia (Italia) es muy frecuente la toma representada en alzado y planta en las figuras 252 y 253. La compuerta, generalmente de madera, corre en las recatas de los mu-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ros de fábrica, y cuando está cerrada se asegura con una clavija ó pasador, ó dos traveseros colocados en la parte superior. También son muy recomendables los *tornos* del canal Villoresi, que consisten en una compuerta mixta de madera y hierro (fig. 254), vista de aguas arriba; figura 255, ídem de aguas abajo), sostenida por dos columnas y movida por una palanca que lo apoya sobre una cremallera de hierro.

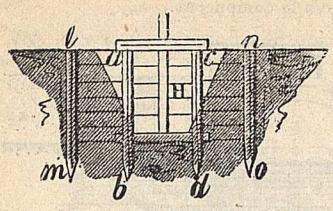


Fig. 251.

A la distancia de 20 metros de la compuerta se coloca el vertedero, que sirve de módulo.

No siempre se dispone de agua suficiente para hacer la derivación á nivel libre; ni tampoco se dispone de desnivel constante.

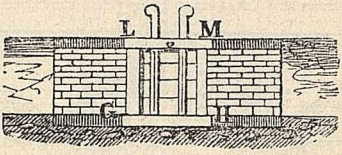


Fig. 252.

Entonces se establecen presas de compuertas á traves de los canales en que se quiere hacer la derivacion, y, cerrándolas, se hace el embalse, es decir, se eleva el nivel del agua á la altura de las derivaciones inferiores, y en éstos se repite la misma opeación.

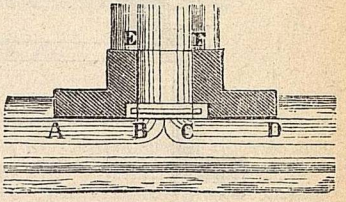


Fig. 253.

305. *Tajeas. — Tajeas con pozo-sifón.* — Además de las obras de toma hay que construir otras que tienen diversos objetos. Las destinadas al cruce por debajo de las calles, caminos, etc., son pequeños puentes, bajo los cuales pasa el agua (fig. 256). Cuando los canales son muy pequeños, se emplean actualmente, tubos de cemento y también de hierro fundido.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tajeas-sifones.—Las *tajeas-sifones* se construyen cuando el agua ha de pasar por debajo de un accidente que es más bajo que el nivel del canal en aquel punto; estas construcciones requieren cuidados especiales. Generalmente se hacen de ladrillo, y á veces con ladrillos especiales que se enlacen para resistir mejor á las

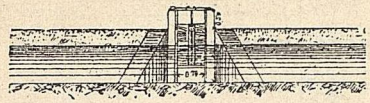


Fig. 254.

tensiones. Los tubos metálicos y de cemento sustituyen con ventaja á los sifones de fábrica. El perfil que presentan los sifones es, en general, el indicado en la figura 257. Cuando no se puede disponer de una pendiente fuerte, hay que tener presente en el sifón las pérdidas de carga.

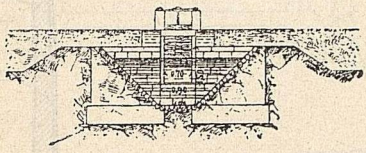


Fig. 255.

Puentes-canales.—Los acueductos ó puentes-canales, en los de riego, se hacen, para luces pequeñas, de madera, hierro ó fábrica, con poca diferencia en el coste. Se calculan como los puentes ordinarios, tomando como carga el máximo gasto.

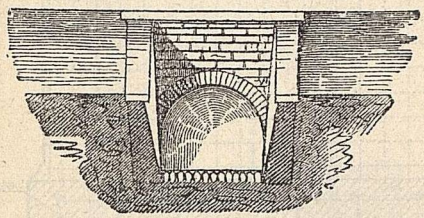


Fig. 256.

En los canales de caudal grande, los puentes acueductos revisten importancia y motivan estudios y proyectos especiales. En la actualidad se aplica con éxito el hormigón armado, y como ejem-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

plo de los notables construídos en España se acompaña la figura 257, que representa el acueducto del *Chorro* (en Málaga) y las 258 y 259, que ofrecen el alzado y detalles del acueducto sobre el río Araxes, en el canal de Aragón y Cataluña, obras todas del eminente ingeniero de caminos D. J. E. Ribera.

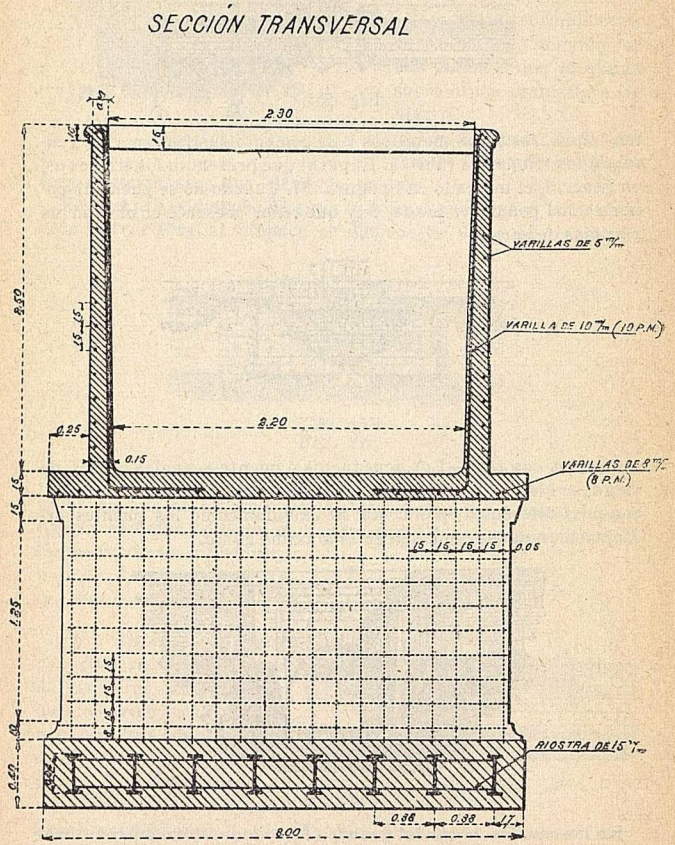


Fig. 257.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

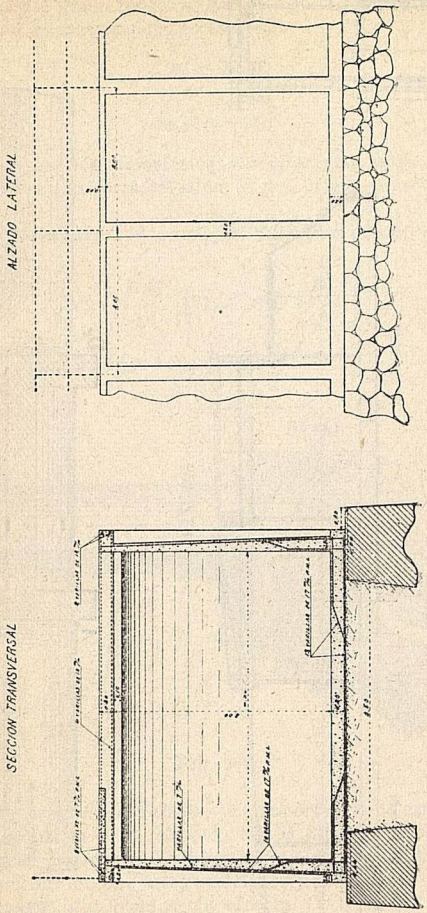
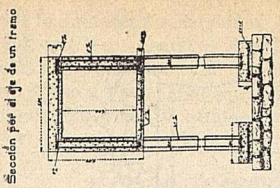


Fig. 258.

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO



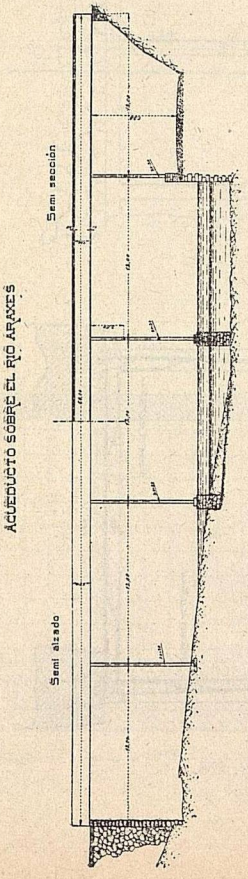


Fig. 259.

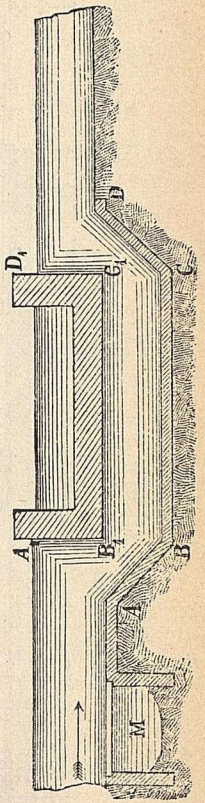


Fig. 260.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

306. *Sifones.*—Los sifones (fig. 261) se usan también en los casos en que el agua ha de pasar á un punto bajo, salvando un obstáculo más alto que el fondo del canal.

Las condiciones para que funcione, son:

$$h_1 < H_a$$

y

$$h_2 < y + h_1;$$

en que H_a = presión atmosférica; y = diferencia entre esta presión y la rama más corta del sifón; h_1 y h_2 lo que representan en la fig. 261.

La pérdida de carga, el gasto y el diámetro pueden deducirse de la

$$Y = \frac{K\,Q^2}{D^5}\left(L + 20\,D\,\frac{D^4}{d^4}\right)$$

siendo d = diámetro en la boca de salida.

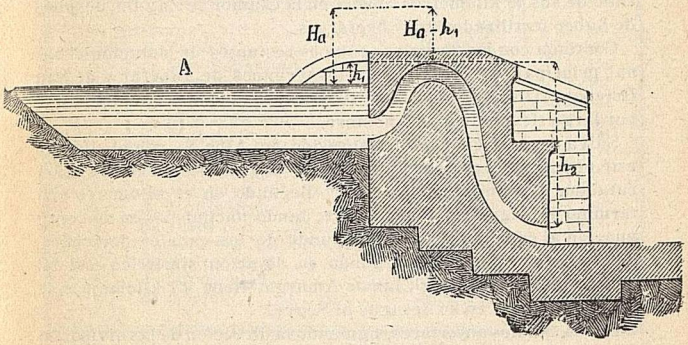


Fig. 261.

Canal de Aragón y Cataluña.—La importancia de este canal es tan extraordinaria y ha ofrecido tantos difíciles é importantes problemas de ingeniería, que bien merece una reseña, aunque sea ligera, para dar á conocer las soluciones, notables, con que se han resuelto todos los problemas que ofrecía.

El canal de Aragón y Cataluña parte del río Esera, corriente la más elevada de todas las que limitan la zona, atraviesa la comarca literana, cuyas distintas mesetas y marcadas depresiones

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

fertiliza con la red de sus canales derivados y acequias, y llegando al Noguera Ribagorzana y al Segre, lleva sus corrientes de agua á la enorme superficie de 149.000 hectáreas.

Trazado general del canal.—En la escarpada cuenca del río Esera, á cinco kilómetros de su desembocadura en el Cinca y enclavada en el término de La Puebla de Castro, está situada la presa; de ella arranca el canal principal, con 35 metros cúbicos por segundo de dotación, y después de recorrer accidentados cinco kilómetros dentro de aquella cuenca, penetra en la abierta y amplia del Cinca. Pasa en su kilómetro 10 por el mismo Estada, deja á su izquierda los altos del Estadilla y de Fonz, y salvando victoriosamente los seis kilómetros del tramo yesoso de Valfría aparece en el término de La Almunia, para llegar en el kilómetro 31 de su trazado al Sosa, cuya importante depresión cruza con el puente sifón de este nombre.

Al recobrar de nuevo su sección, atraviesa el canal principal los altos de La Menudilla, y poco desués se detiene para sufrir, en el partidor de Zaydin la sangría de 15 metros cúbicos por segundo, dotación del canal de Zaydin, primer canal derivado que, al cabo de sus 48 kilómetros, muere en la Clamor de Zaydín, después de haber fertilizado 30.000 hectáreas.

Continúa con los 20 metros cúbicos restantes de dotación el canal principal, atravesando por los términos de Binéfar y de San Esteban, y llega en su kilómetro 52 á la ciudad de Tamarite, que por largo tiempo le dió su nombre.

Salva después el canal la depresión de Albelda con el sifón de este nombre y cruza por fin Coll de Foix, penetrando en la región catalana, término de Alfarrás, y llegando en el kilómetro 82 á término de Alguaire, donde muere, dando nacimiento en su continuación al canal de Escarpe, segundo de los canales derivados, de 13 metros cúbicos por segundo de dotación; simétrico casi del de Zaydin respecto á la Clamor Amarga, tiene 42 kilómetros de longitud y llega en su desagüe al Segre.

De los canales anteriores, siguiendo la dirección de las divisorias secundarias, arrancan las distintas acequias de riego que el Estado construye. San Sebastián, Olriol, La Mola, La Magdalena, Cor de Foix, Vilanova de Alpicat y Alguaire toman sus aguas de canal principal; Valcarca, Esplús y Ripoll derivan del canal de Zaydin, y Monreal y Valmaña, del de Escarpe. Esta red de acequias, de dotaciones variables, llegando á ser alguna de 3.500 litros por segundo, componen una longitud de canalización de 120 kilómetros.

Por último, las exigencias que la regulación del agua en red tan extensa (292 kilómetros entre canales y acequias) lleva consigo, así como la necesidad imperiosa de hacer frente á cualquier en-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

torpecimiento ó avería, limitando su campo todo lo posible, han obligado á la construcción de cauces artificiales de desagüe necesarios para alcanzar los naturales existentes en toda la comarca. El Ciego, La Mesa, Valfría, Sosa, Ribabona, Faleva, Olriols, La Almunia y Coll de Foix, este último uniendo el canal principal al Noguera Ribagorzana, juntos á los de Binaced, Casasnovas y demás desagües finales de los canales derivados y acequias componen una longitud total de próximamente 100 kilómetros.

En el canal principal existen 32 túneles, siendo de 1.700 metros la longitud del mayor; sólo existe un salto, denominado de Agua Salada, cuya altura es de 3,50 metros, y el desnivel total del perfil es de 36,13 metros.

Longitudes y capacidades del canal y acequias derivadas.

DENOMINACIÓN	LONGITUD — *Metros.*	CAPACIDAD — *Litros.*
Canal principal	123 817,48	35.000
Acequia de Zaydin	47.443,04	15.140
» de San Sebastián	6.200,00	1.000
» de Olriols	23.032,00	2.000
» de Mola	14.000,00	2.200
» de la Magdalena	8.450,00	2.400
» de Coll de Foix	3.102,00	1.300
» de Alguaire	8.456,00	1.500
» de Almacellas	2.792,00	2.700
» de Vilanova de Alpirat	12.756,00	1.900
» de Vallmanya	15.123,00	1.200
» de Joses	3.600,00	1.200
» de Monreal	9.350,00	5.000
» de Valcarca	10.326,00	2.048
» de Ripoll	10.531,00	1.732
» de Esplús	11.458,00	3.513

Zona regable.—Siendo de 149.000 hectáreas la superficie total encerrada entre el canal y los ríos, y elevándose á 23.000 el número de hectáreas regadas actualmente por tomas en los mismos y á 21.000 hectáreas la extensión que naturalmente no puede regarse con los canales y acequias, resulta para la superficie regable la cifra de 105.000 hectáreas.

Suponiendo desarrollado el cultivo intensivo y de rotación en un 25 por 100 de la superficie total, destinando 15.000 hectáreas á olivares y viñas y 60.000 hectáreas á cereales de invierno y admitiendo verdadera amplitud en el cómputo de los riegos, sólo exis-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

te déficit real en el caudal utilizable, sin obras de regulación, en el Esera, durante el mes de Agosto y principios de Septiembre; este déficit, evaluado en unos 25 millones de metros cúbicos, no es de temer, aparte de otras soluciones económicas, por la gran facilidad que ofrece el Pirineo para formar embalses laterales libres de los aluviones y cuya potencia es superior al volumen citado. En consecuencia, puede estimarse asegurado el riego de toda la zona.

El hormigón armado en las obras del canal.—La rapidez con que en el último período de ejecución del canal se ha llevado á cabo la mayor parte de las obras de fábrica, y desde luego todas las más importantes, débese, en gran parte, á la adopción en ellas del hormigón y del hormigón armado; siendo forzoso confesar que la carencia de materiales de construcción excepto de gravas y arenas, en casi todo el trazado hubiera hecho casi imposible económicamente la obra, si en ésta no se hubieran aprovechado, siguiéndolos, los progresos de la construcción.

No se vea, sin embargo, exclusivismo alguno en los juicios anteriores; los pocos acueductos de fábrica de mampostería y sillarejo algunos pasos superiores de la misma naturaleza y otras obras construídas en la proximidad de excelentes canteras, constituyeron soluciones acertadas, y testigos de mayor acepción son más modernamente la construcción de la presa, y, sobre todo, la de los muros de Agua Salada, donde con las circunstancias excepcionales que concurrían se hicieron en pocos meses cerca de 25.000 metros cúbicos de mampostería.

Sifones.—Entre las obras modelo figuran el Puente Sifón del Sosa, puesto en servicio desde 1906, y el sifón del Albelda: constituyen ambos las obras de hormigón armado más importantes. Sus longitudes son de 1.090 metros y de 720 metros respectivamente, y soportan una carga máxima de 25 y 30 metros; el sifón del Sosa se compone de dos tubos de 3,80 metros de diámetro interior y 0,20 de espesor, y el de Albelda está formado por un sólo tubo de igual espesor, de cuatro metros de diámetro en su interior, guardando estas secciones relación con sus gastos: éstos son, para la pérdida de carga normal, de 35 y 17 metros cúbicos por segundo, respectivamente (figs. 262 y 263). (Véase también núm. 195.)

Difieren ambos sifones en su disposición general. El del Sosa, compuesto de dos ramas, salva las depresiones de ambas por medio de puentes-sifón construídos en los cauces del Sosa y Ribabona; el sifón de Albelda, de una sola rama, se apoya directamente sobre el valle, quedando enterrado en el fondo del mismo.

Proyectados bajo principios distintos, difieren esencialmete en su estructura interior; en uno se persiguió la impermeabilidad ab-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

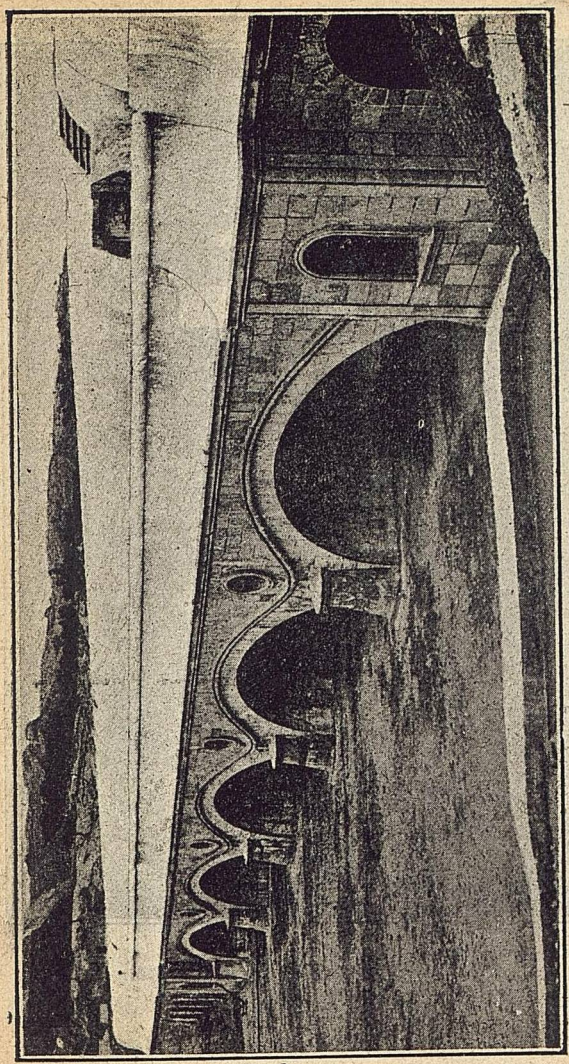


Fig. 262.—*Puente del sifón del Sosa.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

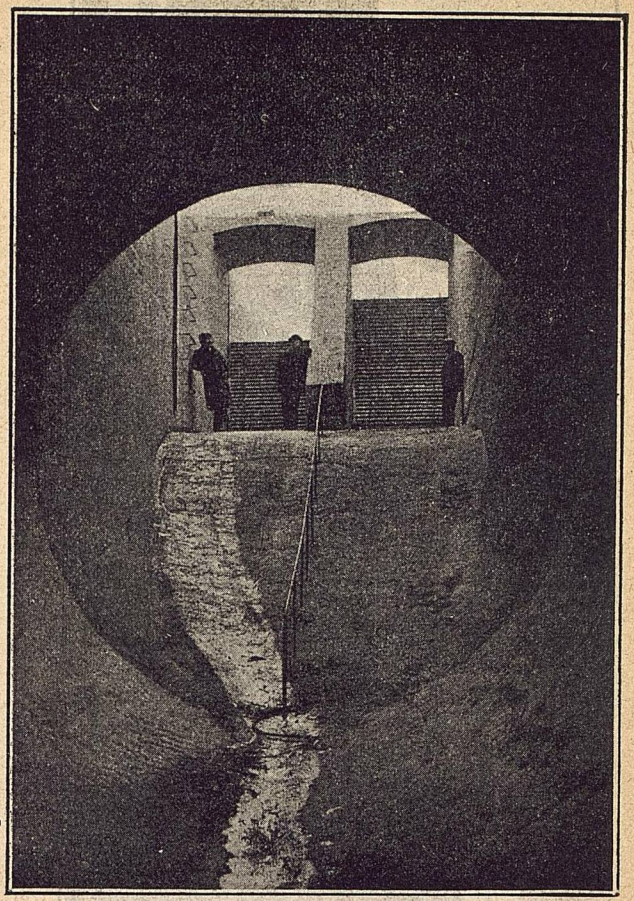


Fig. 263.—*Interior del sifón de Albelda.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

soluta desde el primer momento, adoptando para conseguirla la camisa metálica (chapa de acero de 0,003 de espesor) y ejecutando el tubo de hormigón armado por trozos unidos con juntas especiales; en Albelda el tubo es de estructura metálica discontínua, y se ejecutó sin juntas, alcanzándose la impermeabilidad por colmatación de los poros del hormigón.

El sistema de cierre empleado, tanto para los tubos como para los desagües, está formado por viguetas metálicas de doble T que entran en ranuras practicadas en las pilas de los claros y provistas de pitones en sus extremos para el manejo. Con tal disposición para los cierres se hizo frente á los temores de accidentes que una falsa maniobra pudiera ocasionar en los tubos.

Tanto el muro divisorio de las dos cámaras de entrada á éstos como la pasarela y piso sobre ellas existentes, son de hormigón armado, cuyo empleo explica el reducido espesor de aquél.

Gran número de enseñanzas ha proporcionado el Sifón del Sosa en los pocos años que lleva de existencia; algunas se han utilizado ya en la construcción del Sifón de Albelda, y la comparación del comportamiento en el tiempo de ambos sifones ha de dar lugar á conclusiones prácticas de verdadera importancia; impropio de esta reseña es entrar en la exposición de aquéllas, pero sí se dirá que la expectación en el mundo entero es grande, y recientemente se han recibido comunicaciones de los Estados Unidos consultando puntos especiales y solicitando datos para tenerlos presentes en la ejecución de las obras que van á emprenderse para el abastecimiento de la ciudad de Nueva York.

Cajeros y acueductos.—A tres tipos pueden referirse el gran número de obras de esta clase construídas en el canal: cajeros apoyándose sobre fábricas ordinarias (muros y bóvedas), cajeros con solera sobre palizadas, constituyendo los verdaderos acueductos de hormigón armado, y cajeros-vigas sobre apoyos de fábrica.

Del tipo primero es el construído en el canal principal, kilómetro 70, para salvar la coma de Capdevila. bóvedas de hormigón en masa, paramentadas con sillares artificiales, sostienen el cajero de estructura metálica. A este tipo pertenecen el cajero de la Cueva del Moro, construído sobre muros cuya cimentación sustituyó en 20 metros airoso arco de esta luz; el de Perera (fig. 264), apoyado en cinco arcos de hormigón en masa de 15 metros de luz que forman el hermoso puente de este nombre; el de Coll de Foix; el construído sobre el pase superior del ferrocarril de Zaragoza á Barcelona, en el canal de Zaydin, etc., etc. En este grupo puede comprenderse también el cajero de Agua Salada, sobre muros laterales en cuyos bordes interiores se apoya la solera de hormigón armado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

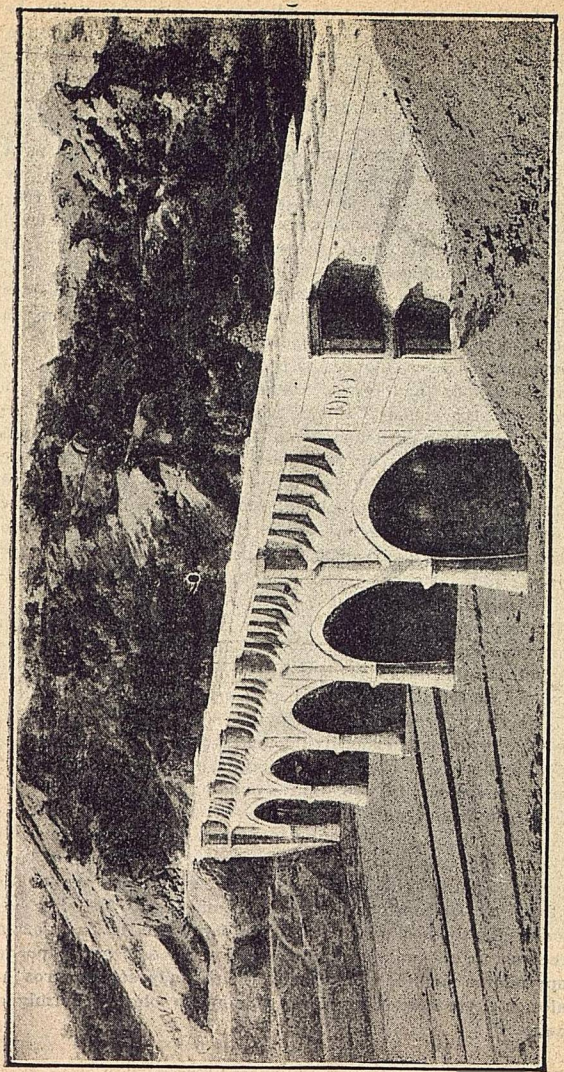


Fig. 264.—*Acueducto de Perera.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Como modelo de acueductos de hormigón armado se cita el de Nou, canal principal, kilómetro 54. La sencillez y economía de este tipo de obras son evidentes y su aplicación ha de extenderse cada día más. De igual tipo son el acueducto de la sexta hondonada de Valfría, el de Faleva, el de Pirla en Zaydin, etc., etc.

Son dignos de estudio especial los paraboloides de enlace del acueducto con el terreno; ejemplo de la gran importancia que debe siempre otorgarse á estas uniones.

En el tercer grupo de obras está el acueducto de Montreal (canal de Escarpe, kilómetro 21).

El cajero todo, paredes laterales y solera, está calculado para resistir á la flexión originada por su peso y el del agua al salvar la luz de las pilas de fábrica en que se apoya. Típica en este acueducto es la disposición de verdaderas juntas de dilatación constituídas por chapas metálicas en forma de fuelles empotradas por sus extremos en la parte interior del cajero; en estas partes se aumenta algo el espesor de las pilas.

Pasos superiores y obras para desagües.—Son cuatro los tipos de los primeros, y á ellos pueden referirse los en crecido número existentes en toda la extensa red del canal.

Tablero recto con vigas sostenidas por apoyos construídos sobre arcos aislados; modelo el ejecutado en Zaydin, kilómetro 2.

Tablero sobre vigas con apoyos intermedios, pilares ó pilas.

Tablero sobre vigas sin apoyos, y

Pasos de arcos.

Modelo de desagües de hormigón armado proporciona la alcantarilla elíptica de tres metros de luz construída en el canal de Escarpe, y cuyo tipo fué primeramente aplicado en el de Zaydin.

Túnel artificial de Gorgafonda.—Especial y única esta obra en el canal, proporciona un ejemplo de lo que con el hormigón armado puede llegar á alcanzarse.

Al ejecutar las excavaciones para la apertura del canal principal en el sitio denominado Gorgafonda, kilómetro 5, se vió la naturaleza detrítica del terreno, compuesto de grandes bloques desprendidos de la parte superior de las laderas envueltas en sus corrimientos por las tierras y productos detríticos; la inestabilidad del conjunto, causa de algún accidente tristísimo, impuso como solución el construir un túnel artificial, siendo necesario hacer frente á los temores de la probabilidad de corrimientos que determinaran socavaciones parciales. Se recurrió á este fin al hormigón armado, adoptando la solución de que la estructura y dimensiones de las armaduras metálicas responden á la idea de que toda la obra resista, como un puente tubo, socavaciones parciales que sin peligro alguno puede sufrir la solera.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

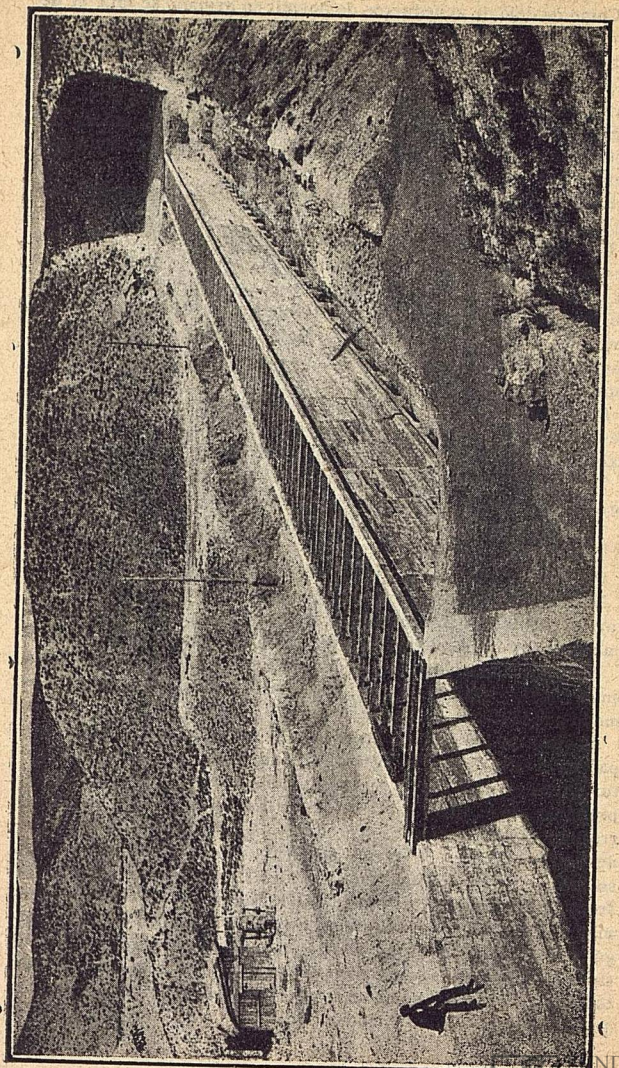


Fig. 265.—*Acueducto de hormigón armado.*

NDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Otras aplicaciones del hormigón armado.—De este material son todas las pasarelas que proporcionan el paso sobre los puentes y acueductos, habiéndose construído con igual fin en el interior de los túneles varios kilómetros de aquéllas; aplicación del hormigón armado se ha hecho; en la ejecución de revestimientos y zampeados, siendo el más importante de éstos el ejecutado aguas abajo de la presa; en la construcción de los estribos y pilas situados en el interior del canal y cuyos espesores conviene reducir á un mínimo; en los pisos de las casas y casillas, y, por último, en los 4.000 postes hectométricos que miden la red general.

Presa de derivación y toma de agua.—La naturaleza especial de esta obra, cuya construcción fue precedida de controversias y detenidos estudios al tratar de fijar su emplazamiento, justifica la excepcional importancia que se le ha otorgado.

La sección de la presa es trapecial en todos los 30 metros de su longitud, siendo su altura máxima de 4,50 metros y llegando hasta cifra análoga la profundidad de sus cimientos; ejecutada en su interior y cimientos de hormigón en masa, se ha coronado y paramentado de conglomerado calizo, verdadero mármol, procedente de canteras próximas. La cimentación se hizo sobre roca caliza, aprovechando en algún punto la existencia de grandes bloques desprendidos de las laderas, que han quedado sepultados en el interior de la presa, formando parte de ella.

En su estribo derecho se apoya la presa sobre un desprendimiento de la ladera, llegando á empotrarse en ésta; los huecos de aquél proporcionaron durante la construcción camino rápido á los obreros para elevarse desde el cauce á la parte superior de las márgenes.

La construcción de la presa, por el encajonamiento del río y naturaleza de su corriente, proporcionó verdaderas dificultades; repetidas veces fueron rotas y arrastradas las ataguías y presas provisionales, y á pesar de estar establecido servicio especial para el aviso de las crecidas del Esera, la rapidez y magnitud de éstas fueron en algún momento tales, que sólo hubo lugar á la salvación del personal de trabajo. Crecida hubo cuyo volumen se apreció en 1.800 metros cúbicos por segundo.

Poderosos auxiliares de construcción fueron los cables metálicos con torno y canales de madera, por cuyo medio se efectuó el descenso por la ladera escarpada de todo el material necesario. El trabajo se hizo día y noche, proporcionando la luz eléctrica dos dinamos movidas por los mismos motores de gas de los trenes de agotamiento.

En el estribo izquierdo de la presa está la toma de agua, que se realiza por medio de seis compuertas metálicas, cuyos mecanis-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mos de maniobra van alojados en la casa de compuertas; la altura de su piso es de 5,50 metros sobre la coronación de la presa, nivel que en época reciente, durante avenida verdaderamente aterradora y nunca hasta el presente vista, llegaron á alcanzar las aguas.

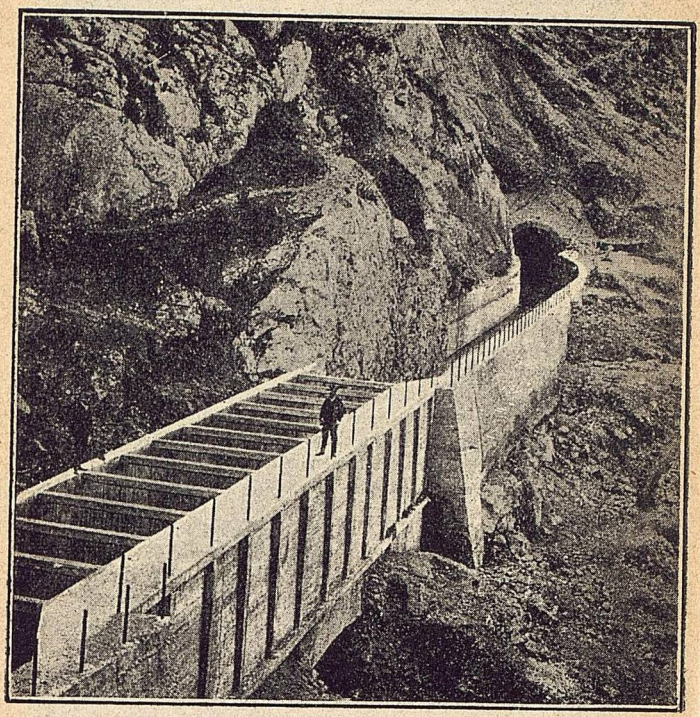


Fig. 266.

A la entrada del agua en el canal existen dos compuertas formando un desagüe de fondo, que sirven además para la limpieza de aquélla, evitando el consiguiente aterramiento; inmediatamente después se esconde el canal en el primer túnel de su trazado, con cuya longitud, de 1.070 metros, llega á Agua Salada.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

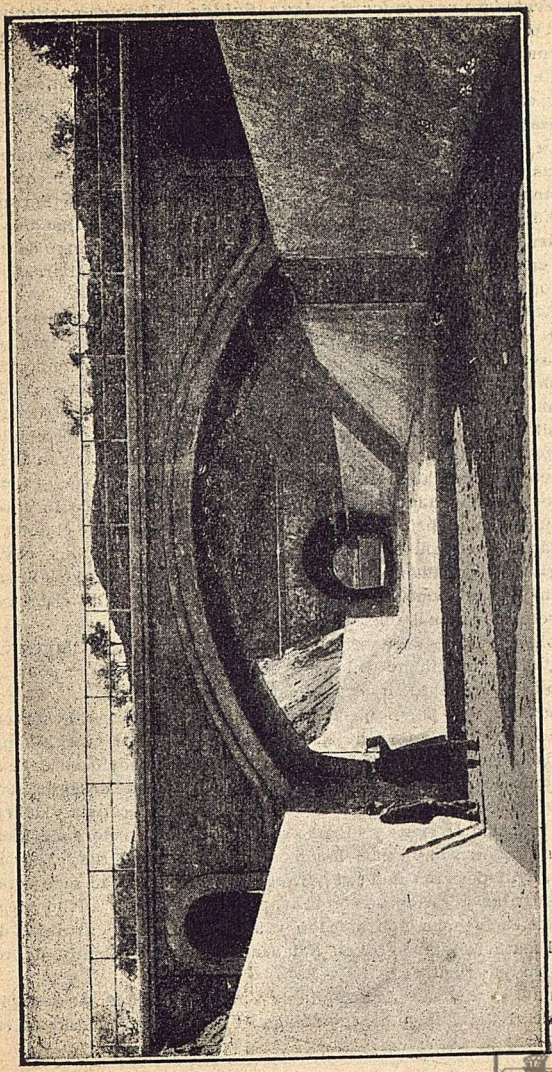


Fig. 267.—*Paso superior de la carretera y túnel.*

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Vertedero regulador de Agua Salada.—Ninguna particularidad ofrece en su disposición general; sólo haremos notar el salto ya mencionado de 3,50 metros que en esta parte del canal principal existe, único en todo él é impuesto por la necesidad de alcanzar el emplazamiento fijado como el más conveniente para la presa.

La cabeza del salto se ha utilizado para establecer un cierre transversal de viguetas que permite, con ayuda del vertedero y compuerta de fondo establecidos, regular perfectamente la cantidad de agua que ha de continuar por el canal; este tipo de desagües, con ó sin vertedero y con mayor ó menor número de claros en el cierre transversal, se encuentra repetido en el arranque de todos los diferentes cauces de desagüe.

Rápidos de agua.—Solución es ésta para salvar descensos del terreno, que supone una gran economía de establecimiento respecto á las demás que pueden aplicarse, consideración importantísima tratándose de obras que pudieran resultar inútiles el día de mañana por el aprovechamiento posterior de las energías que en ellas se pierden. Ello, junto á que, merced á la disminución en lo posible de la lámina de agua y á la excelente naturaleza de los cementos artificiales empleados, puede aumentarse sin grandes temores de degradación, la velocidad del agua ha sido la causa de su franca adopción en el canal, siendo muy grande el número de rápidos existentes en los canales derivados y acequias, cuyas longitudes, sumadas, suponen muchos kilómetros; algunos llevan además en su abono la simplificación de las obras de cruce con carreteras y demás vías.

Como tipos de estas obras son el salto y rápido de Alfages (canal de Zaydin, kilómetro 10), y del que ha de construirse sobre el paso del ferrocarril en el canal de Escarpe, kilómetro 8.

Derivaciones (fig. 268).—La disposición adoptada para estos casos es la del arranque de la acequia de Valcarca, en el kilómetro 5 del canal de Zaydin; la elección de este modelo se debe al conjunto de obras que en él aparecen. Los caños de desagüe, sencillos tubos de hormigón situados debajo de la acequia y del canal. La toma de riego y el paso superior de la carretera de Monzón á Binefar son un modelo más de esta clase de obras, y, por último, la disposición dada al paraboloide de enlace de la sección rectangular de este paso con la trapecial del canal. Dicho paraboloide es de hormigón armado y se apoya sobre caballetes de igual material, que lo hacen independiente de los asientos del terraplén que recubre.

La doble misión de la acequia de Valcarca, que en su desagüe vuelve al canal de partida, justifica el cierre transversal de vi-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

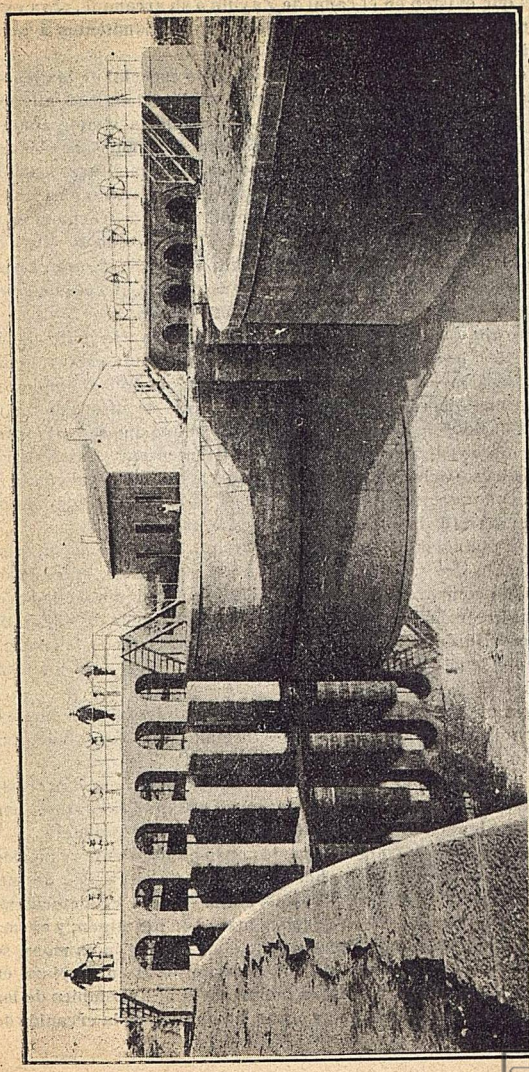


Fig. 168.—*Partidor de Zaydín.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

guetas que existen en el canal de Zaydin á su arranque, obra existente también en algunas derivaciones correspondientes á otras acequias.

Cauces artificiales de desagüe.—Modelo especial de la disposición dada á estas obras en la mayor parte de su longitud, allí donde las pendientes del terreno hacen imposible la simple zanja y antieconómicos los rápidos; una sucesión de tramos de escasa ó nula pendiente se unen entre sí por saltos de poca altura. La obra de fábrica que éstos suponen redúcese en muchos á simples revestimientos de mampostería, y generalmente es aprovechada en la ejecución de las servidumbres de paso. En el tramo de cauce de Binaced, que desagua Zaydin en su kilómetro 14, figura el paso de la carretera de Binefar á las casas de Ripoll, ejecutado, como casi todos los de su género, de hormigón armado.

Ejecución de las obras.—Atención merece la ejecución de los terraplenes, hecha en el último período de obras; la perfecta consolidación á que en los mismos se ha llegado obedece al empleo de rodillos metálicos, compuestos de una serie de discos de fundición, dispuestos en dos ejes paralelos, de modo que se corresponden los discos del uno con los claros existentes entre los del otro; ambos ejes sostienen un cajón de madera, en que se acumula la sobrecarga, que aumenta á voluntad el peso y que obliga al empleo de cuatro ó cinco caballerías para el arrastre.

La consolidación obtenida en los terraplenes ha sido superior siempre á la del terreno natural de los préstamos, como lo demuestra la comparación de ambos volúmenes, y en aquélla se ha llegado, puede decirse, al límite, reduciendo á cero el espesor de los mantos sucesivos, verificándose la incorporación de las tierras por medio de palas y actuando el rodillo compresor de un modo continuo.

Modernamente, en la apertura de los desmontes, se han empleado máquinas excavadoras, cuya extremada sencillez y buen rendimiento parece han de acreditar su tipo.

Los enormes cubos de tierra que se han removido se han transportado merced al considerable material auxiliar existente, compuesto de algunos kilómetros de vía y numerosas vagonetas.

La adopción del hormigón armado con la consiguiente reducción de espesores, que supone ha hecho innecesario el empleo de mecanismo para la ejecución de los hormigones, sólo en determinadas obras del canal existen grandes masas de hormigón, y en una de ellas, en el Puente de Perera, todo él de hormigón en masa, se usó una hormiguera mecánica que contribuyó al corto plazo en que fué ejecutado: En cambio, la importancia que el empleo de los cementos ha adquirido en estas obras, ha obligado á la creación de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

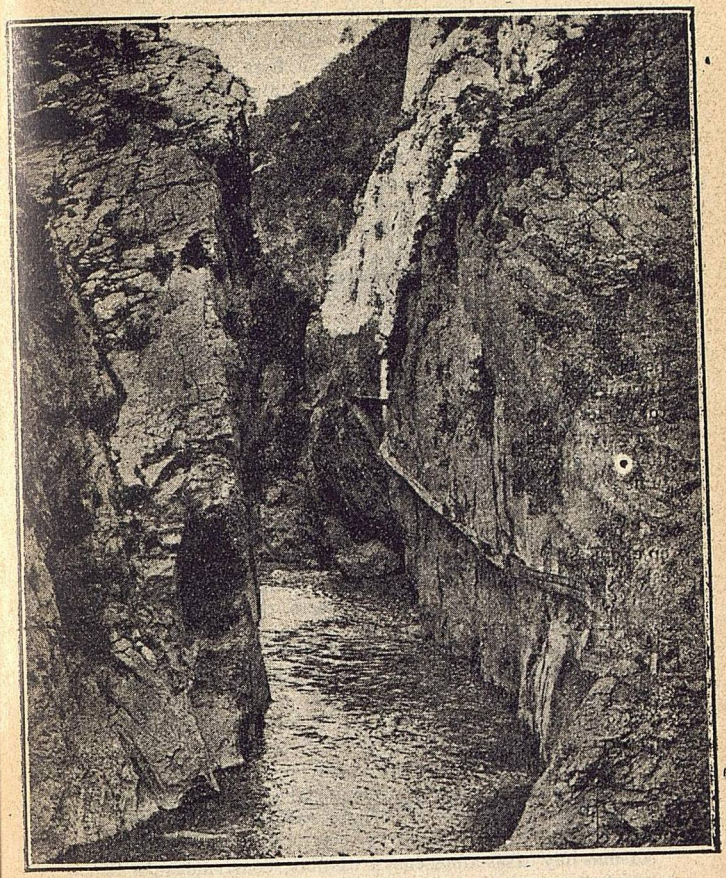


Fig. 269.—*Camino de servicio en la Revuelta de las Palmas.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

un laboratorio funcionando continuamente, y en el que todas las partidas eran ensayadas antes de su empleo.

Obras para el riego.—Dos partes principales deben distinguirse en ellas: la toma de agua propiamente dicha, única obra que afecta al canal ó acequia en que se construye, y la disposición para el suministro y comprobación del agua. Esta penetrra en las alcantarillas ó acueductos de las tomas mediante el manejo de las compuertas metálicas ó tajaderas que cubren sus bocas.

Tres son los tipos de compuertas de riego existentes en el canal, naciendo uno de ellos de la duplicidad dada á otro.

El agua pasa del acueducto de toma á un primer depósito, de donde, por medio de un vertedero, situado en la pared opuesta, cae á la cámara de comprobación y de aquí pasa libremente á las acequias de riego. Una escala graduada, cuyo cero coincide con el nivel del umbral del vertedero, da por simple lectura el espesor de la lámina vertiente; esta escala va fija á una de las paredes laterales del primer depósito.

Los interesados pueden, en consecuencia, con una simple inspección, juzgar del modo cómo les es servido el suministro; pero si tuviesen algún temor ó creyesen notar irregular funcionamiento, ya por mala colocación de la escala, ya por otras causas, pueden exigir la comprobación directa del caudal que reciben, á cuyo fin se hace uso del depósito ó cámara de comprobación, cuyo volumen es igual al gasto por la toma durante un cierto tiempo. Una canal de palastro, montada sobre unos carriles, permite suspender en un momento determinado, desviándola, la entrada del agua en el depósito y restablecerla instantáneamente á voluntad; de esta forma puede determinarse exactamente el tiempo que tarda en llenarse el depósito y, en consecuencia, el gasto del vertedero.

Instalaciones complementarias.—Consignaremos la atención que se ha otorgado al arbolado; muchos miles de plantas han sido puestas á todo lo largo de la canalización hecha y se han establecido en diferentes sitios viveros, siendo de más importancia los situados en Perera, donde se ha hecho una instalación especial para su riego.

Los postes kilométricos y hectométricos son de hormigón los primeros, y en los segundos este material se refuerza con un sencillo recuadro metálico que permite reducir su espesor á 0,05 metros.

Además hay casas-almacenes y casillas, construídas por imposición de las condiciones de la zona en que la mayor parte del trazado se desarrolla. Su utilidad es grande en la explotación de la obra.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

307. *Saltos.*—Los *saltos* en los canales industriales y de riego tienen grandísima importancia. Cuando no se utilizan, hay que proveerlos de un apoyo de fábrica, de paramento vertical, inclinado, con retallos ó con arcos tangentes (con preferencia arcos de cicloide). Las paredes también han de estar sostenidas por muros, y el fondo necesita un zampeado de hormigón de 0,50 metros de espesor mínimo.

308. *Partidores.*—Los *partidores* se construyen de varios modos. Para dividir el caudal de agua de un canal en dos partes que guarden una relación dada, se puede hacer mediante orificios de carga ó vertederos de cierta amplitud cada uno: ó bien, y es me-

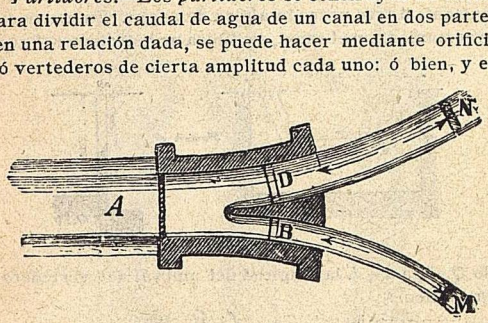


Fig. 270.

jor, con varios orificios iguales, en número proporcional al gasto, ó de otro medio cualquiera (Fig. 270).

La construcción del partidor se hace con toda exactitud. Conviene poner en el canal *A* un umbral, algo elevado sobre el fondo y lo más lejos posible del partidor, para procurar que el agua se

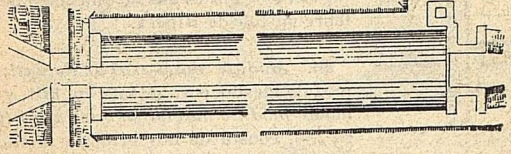


Fig. 271.

divida, como en un depósito donde estuviese tranquila; y para hacer exacta y fija la pendiente en los canales *B D*, se ponen unas presas *B* y *D* ó *M* y *N*, algo distantes entre sí.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

309. *Módulos para grandes derivaciones.—Módulos Cipolletti.* Se compone de la derivación, con una ó varias bocas, cerradas con compuertas, seguida de un canal cuya solera está á la altura del umbral de los orificios ó bocas.

El canal es horizontal, de 20 metros de longitud, y de sección trapecial; en el final se dispone normalmente al eje, una placa vertical, en la que hay recortado un vertedero módulo de sección trapecial, con el umbral elevado sobre la solera una altura igual próximamente á tres veces la altura de carga. En un pozo lateral, que comunica con el canal, se coloca un hidrómetro (figuras 271 y 272).

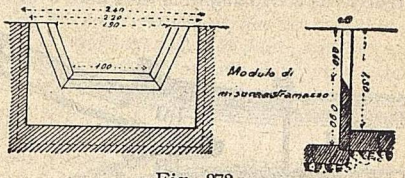


Fig. 272.

Siendo Q el gasto, L la longitud del umbral del vertedero y H la carga, se tiene:

$$Q = 1{,}86\ L\ H^{3/2} \qquad H = \left(\frac{Q}{5{,}58}\right)^{2/5}; \qquad L = 3\ H$$

El ancho b del canal es $b = 11\ H$.

El espesor s del perímetro del vertedero:

para $H < 0{,}12$ ..... $S = 0{,}10\ H$
» $H > 0{,}12$ ..... $S = 0{,}25\ H$

La longitud l del canal $l = 30\ H \div 60\ H$.

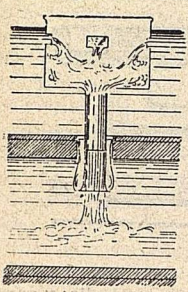


Fig. 273.

310. *Módulo de gasto constante.*—Entre los muchos tipos propuestos, figura el de Richelung modificado por Torricelli (figura 273), que es una modificación del célebre módulo de Ribera.

311. *Módulo magistral de Soldati.*—El módulo ideado por Soldati en 1571, y llamado *módulo magistral ó milanés* (figura 274), consta de dos orificios, uno sobre el talud del canal en A (orificio regulador ó de toma, provisto de una compuerta), y el otro (módulo ú orificio magistral) á 5,949 metros del primero (10 brazas milanesas). Entre los dos orificios hay una cámara cubierta, $A\ B$, de 0,6457

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

metros de ancho, ó sea 0,495 metros más ancha que el orificio.

El umbral de la segunda está 0,385 metros más alto que la primera. Los orificios tienen un ancho de 0,14873 metros, y una altura de 0,019831 metros, siendo la carga de 0,9916 metros. La cubierta de la cámara se hace con tablas horizontales.

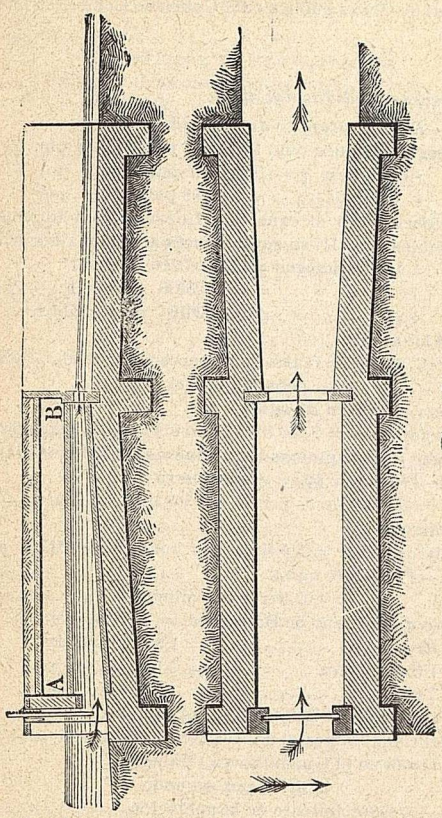


Fig. 274.

Después del módulo se tiene una cámara descubierta ó caz de 5,354 metros de longitud y un ancho que excede en 0,099 metros al del módulo al principio, y en 0,247 metros al final; el fondo está 0,049 metros más bajo al principio y 0,099 metros al extremo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El orificio ó módulo está praticado en una placa de mármol de 0,14873 metros de espesor. El gasto de este orificio no se ha establecido nunca con exactitud. El Ingeniero Merlo lo fija en 45 litros por 1"; Mazeri en 34 litros; Brunacci en 41; Parocchetti, primero en 34 y luego en 3?; De Regi en 40; Colombani en 34,5. La Dirección general de Obras públicas del Gobierno Lombardo lo admitió de 46 litros.

312 *Diversas medidas del agua.*

MADRID.—*Real Fontanero de Madrid:*

Según Palanca (año 1727) 9,27 pulgadas c. por 1"
» Vallejo (» 1824) 5,36 pulgadas c. por 1"
» Barra 2,98 pulgadas c. por 1"

Según Ribera, para el canal del Lozoya: Real fontanero = 3 pulgadas cúbicas por 1"; su equivalencia al sistema decimal es:

1 real fontanero = 0,000037556 m³ por 1".
1 » » = 0,00225336 m³ por 1'.
1 » » = 0,1352016 m³ por hora,
= 3,2448384 m³ al día.

1 litro por 1" = 26,626 reales fontaneros = 27 reales fontaneros próximamente.

BARCELONA.—*Pluma de agua:*

90 litros por hora = 2.160 litros diarios = 0,025 litros por 1".
1 litro por 1" = 40 plumas barcelonesas, 7.921 litros diarios.

MATARÓ.—*Pluma de agua mataronesa:*

= 0,0896 litros por 1" = 7.508 litros al día.

Según Palau:
= 0,09981 litros por 1" = 359 litros por hora = 8,664 litros por día.

HABANA.—*Pluma de agua*:

= 4,02 litros por minutos.

Muela del Llano de Barcelona: = 7.439 m³ por día.
Regadera..... = 1.859 m³ por día.
Fibla gruesa..... = 1.100 » » »
Tejo..... = 220 » » »

Hila de Orihuela: = 72,900 pulgadas cúbicas.

Muela del Canal imperial de Aragón: = 260 litros por 1".

Parte ó azada en el Guadalhorca (Málaga):

15 litros por segundo.

MÁLAGA.—Abastecimiento de la población.

Real fontanero..... = 1.500 litros al día.
Paja de agua..... = 750 » »

PARÍS.—*Pulgada de Prony*: = 20.000 litros al día.

Idem de fontanero:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

= 0,2222 litros por 1" = 799,58 litros por hora,
= 13,333 litros por 1' = 19.199 litros al día.

Los principales módulos en las provincias de Italia son los que se insertan á continuación; en todos ellos representaremos por l el ancho; a la altura, b la carga en el orificio y Q el gasto en litros por 1".

a) Módulo italiano:

$Q = 100$ litros, sin forma prescrita.

b) Onza milanesa (Las dimensiones son en metros):

$l = 0^m,14783$; $a = 0^m,29831$; $b = 0^m,09916$;
$Q = 32 \div 46$ litros.

c) Módulo cremonés:

$l = 0,0403$; $a = 0,4029$; $b = 0,0403$
$Q = 26,86$ litros.

d) Módulo lodigiense:

$l = 0,0379$; $a = 0,3415$; $b = 0,0991$;
$Q = 23,12$ litros.

e) Módulo de Pavía:

$l = 0,1179$; $a = 0,1572$; $b = 0,0786$;
$Q = 19,5$ litros.

f) Módulo de Novara:

$l = 0,1515$; $a = 0,2020$; $b = 0,1010$;
$Q = 36$ litros.

g) Cuadrado veronés:

$l = 0,3429$; $a = 0,3429$; $b = 0,0571$;
$Q = 145$ litros.

h) Cuadrado de Mantua:

$l = 0,4668$; $a = 0,4668$; $b = 0,0778$;
$Q = 314$ litros.

i) Módulos piamonteses:

Onza piamontesa

$l = 0,1284$, $a = 0,1712$; $b = 0,0856$;
$Q = 24$ litros.

j) Turno y onza Michelotti:

$l = 0,5136$; $a = 0,5136$; $b = 0$;
$Q = 341,18$ litros.

k) Módulo de agua del Códice albertino:

$l = 0,20$; $a = 0,20$; $b = 0,20$;
$Q = 59,88$ litros.

l) Muela moderna:

$l = 0,523$; $a = 0,523$; $b = 0,435$;
$Q = 50,60$ litros.

m) Módulos romanos:

Onza de agua de Trevi.—Sale el agua por un tubo de 0,0186 me-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

trós de diámetro interior y 0,2792 metros de longitud; la altura de carga es de 0,2792 metros; para aumentar el gasto se aumenta el diámetro del tubo; para n onzas el diámetro será:

$$d = 0{,}0186 \sqrt{n}.$$

Onza de agua Vergine.—Según *Prony:*

$Q = 0{,}4766$ litros por 1".

Según *Scaccia:*

$Q = 0{,}468$ litros por 1".

Onza de agua Paola.—Sale por un tubo de 0,01315 metros de diámetro, con la misma carga y longitud que la de Trevi:

$Q = 0{,}234$ litros por 1" = 20,22 m³ al día.

n) Módulos palermitanos:

Medidas en el campo:

Zappa..... $Q = 16{,}4937$ litros por segundo.
Dardo..... $Q = 4{,}3860$ » »
Aquila..... $Q = 1{,}1467$ » »
Denaro..... $Q = 0{,}3068$ » »

Medidas en la población:

Denaro..... $Q = 0{,}1389$ litros por segundo.
Penna (pluma)... $Q = 0{,}0335$ » »

o) *Onza de Calusso:* = 24 litros por segundo.

p) *Onza cremasca:* = 18 » »

313. *Reparto del agua de riegos.*

a) Las marcitas, arrozales y otros cultivos requieren el riego por derivación, continuo y con caudal fijo.

b) En algunos puntos, y muy á menudo en la provincia Emilia (Italia), los regantes tienen derecho á disponer de toda el agua desde el medio día del viernes al del domingo. Este derecho se llama en italiano de *quindicena* y ha dado lugar á numerosos litigios.

c) Generalmente se distribuye el agua por *turnos* ó *vuelta*, es decir, que cada regante de un canal de gasto Q, dispone de todo el gasto durante un tiempo (horario) de O horas seguidas, cada período de R días. No ha lugar á dudas, pues el turno y horario de un caudal Q, durante O horas cada R días equivale á un gasto continuo dado por la expresión

$$q = \frac{O\,Q}{24\,R}$$

El reparto del agua para riegos se hace en algunas regiones de España del modo siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

a) *Riegos de Lorca.*—Se divide el territorio en tres heredamientos, y el caudal total del río se distribuía como sigue:

1.° Heredamiento de Sutullena y Alberquilla $\frac{3}{18}$ del vol. del río.

2.° — de Tercia ..... $\frac{5}{18}$ — —

3.° — de Albacete..... $\frac{10}{18}$ — —

En el 1.°: Cada *cuarto* (unidad de venta) dura $^5/_4$ de hora; el *tandeo* se compone de 436 *cuartos;* período de disfrute de un mismo cuarto, cada 46 días.

En el 2.°: Se divide el caudal en *10* módulos = 20 *hilos* diarios; el período de vuelta es de 156, 160 y 162 días para cada uno de tres grupos de dos módulos.

En el 3.°: El caudal se divide en 25 módulo = 50 hilos (25 de día y 25 de noche). (Cada módulo tiene un nombre particular.) El tandeo máximo es de 127 días.

b) Pantano del Elche.—El caudal se divide en 12 partes: una se destina al abastecimiento de la población; el gasto de cada una de las 11 partes restantes durante doce horas es la unidad *hilo de agua*. El turno de cada hilo es de 37 días.

c) Pantano de Tibi.—Las dos *dulas* (dula = gasto normal del río) se dividen en períodos de tanda ó *martavas* de 21 días, 15 horas y 7 $^1/_2$ minutos desde el 25 de Septiembre al 24 de Junio, y de 14 días, 10 horas y 5 minutos el resto del año.

d) Huerta de Valencia.—En la presa de Moncada se divide el caudal (cuando es escaso) en 138 partes ó *filas*, llamándose á la unidad *fila valenciana*. Esta unidad es variable y vale 46,69 ú 86,52 litros por segundo, según los *Sres. Villanueva, Cervera* y *Azofra*.

e) Riegos del Palancia ó Murviedro.—El tandeo es de 15 días.

Diversos métodos de riego.

314. 1.°—*Riegos por aspersión.*—Con este sistema se procura imitar el efecto de la lluvia. Permite aprovechar mejor que cualquier otro sistema, la cantidad de agua y las materias fertilizantes unidas á ella, reduce al mínimo las pérdidas y exige pocos gastos para preparar el terreno. Se practica con regaderas, ó cubas de una capacidad de 300 ÷ 1.000 litros, y también con una cañería provista de bocas á las que se ajusta una manga con lanza y que toma el agua de un depósito elevado naturalmente, ó elevando el agua por medio de bombas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

315. 2.º—*Riegos por infiltración.*—Permite usar aguas duras y frías, porque al infiltrarse en el terreno pierde parte de su dureza y se suaviza la temperatura. Se aplica de varios modos:

a) *Por zanjas superficiales.*—Se usa en los terrenos llanos, regularizados en tablas ó zonas de poco ancho, separadas por surcos, en las que penetra el agua y se conserva durante algún tiempo.

Se necesita, pues, una red de regueras que reciben el agua y que han de poder cerrarse por un extremo, y una red de surcos de desagüe que comunican con el colector (fig. 275). Según la clase de cultivos, varía la distribución, como se ve en la figura 276.

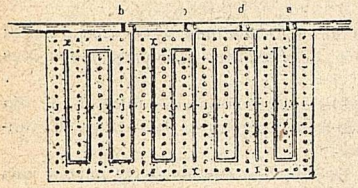


Fig. 275.

En los terrenos ondulados y en que no se dispone de planos regulares, las regueras y colectores siguen las sinuosidades del terreno.

b) *Por tuberías ó cañerías porosas.*—Consta de una red de alcantarillado sistema inglés, que desemboca en un colector único que puede abrirse ó cerrarse para la descarga. Cuando está cerrado, la tubería funciona á presión si la línea de carga es superior á los extremos de los tubos y pasa el agua al terreno á través de los poros y uniones de la cañería. Cuanto mayor es la altura capilar de saturación de la tierra, tanto más pronto saldrá el líquido hacia la superficie; si se abre y descarga el colector, el agua no absorbida ó la sobrante, después de empapada la tierra, tiende á salir al colector y se evacúa por él. Las grandes ventajas de este sistema, son: pérdidas mínimas de agua y de las substancias fertilizantes; no requiere preparación especial del terreno; no ocupa espacio ni reduce el dedicado al cultivo, como en las regueras.

Fig. 276.

El empleo de una sola red, tanto para el riego como para el drenaje del terreno, es un inconveniente, á causa de la diversa profundidad y distancia conveniente para cada objeto. Torricelli propone la adopción del riego subterráneo, especialmente para el cultivo de huertas en los países meridionales. Ha hecho estu-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dios y experimentos muy interesantes acerca de ello, determinando las leyes de expansión y difusión del agua en un medio permeable y fijando la profundidad y distancia de los tubos en función de su gasto y del tiempo necesario para cada riego. Resulta por término medio una profundidad de 0,40 metros y una distancia de 30 metros.

316. 3.°—*Riegos por submersión ó á manta.*—Sirve para zonas de gran extensión; se presta mejor que ningún otro para obtener abundantes sedimentaciones que pueden resultar muy económicas. No se presta á todos los cultivos, y requiere un consumo grande de agua (figura 277).

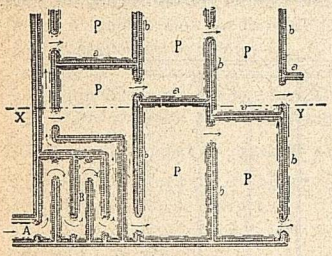


Fig. 277.

Se practica rodeando el predio regable con caballetes de tierra, subdividiéndolo con otros caballetes longitudinales y transversales, con las correspondientes bocas de entrada y salida. El espesor de la capa de agua puede reducirse á pocos centímetros; en los arrozales el espesor aumenta hasta 15 ÷ 20 centímetros ó más. Los caballetes tienen una altura de 10 ÷ 20 centímetros; el ancho en la coronación es de 25 ÷ 30 centímetros, para que sirvan de sendero para pasar de un cuartel á otro. Muchas veces, antes de llegar á los cuarteles, se hace recorrer al agua en zig-zag (fig. 277) para elevar su temperatura.

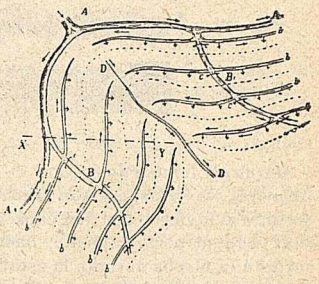


Fig. 278.

317. 4.° — *Riegos por regueras (horizontales ó inclinadas).*—Tienen la ventaja de aplicarse á cualquier clase de terrenos, lo mismo á los muy inclinados que á los casi horizontales. Además la circulación continua del agua en invierno retarda la pérdida de calor del terreno. Técnicamente,

Fig. 279.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ofrece la desventaja del lavado que ejerce en el terreno, y resulta más costoso.

En las figuras 278 y 279 se representa el caso general de regueras horizontales, aplicables á terrenos en laderas.

Cuando la inclinación del terreno es de 2 ÷ 5 por 100, presenta las mejores condiciones técnicas y económicas para este sistema de riegos. Las regueras conductoras y distribuidoras forman una red de grandes mallas; las aguas de escorrentía se recogen de un plano á otro, para reducir las pérdidas.

Cuando el terreno es horizontal ó casi horizontal, conviene el sistema de *doble arriate,* que aparece en las figuras 280, 281 y 282.

Fig. 280.

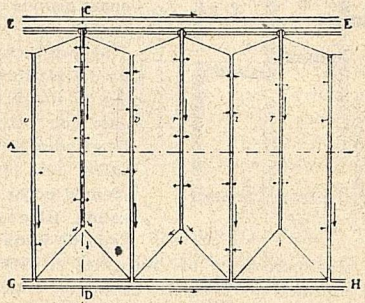


Fig. 281.

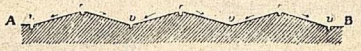
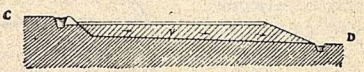


Fig. 282.



Marcitas lombardas.—Con el sistema descripto se riegan las llamadas *marcitas,* que son praderas que se riegan cubriéndolas durante el invierno con una capa de agua corriente, merced á la cual vegetan perfectamente, hasta el punto de poderse dar dos cortes á la hierba durante la estación más fría.

318. *Reglas para los riegos.*—A igualdad de cultivo y de clima, los riegos pueden ser tanto más útiles y frecuentes cuanto mayor es la permeabilidad del terreno y más rico es en elementos útiles el agua disponible.

Las épocas vegetativas más convenientes para los riegos, son:

1.º En la germinación.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

2.º En la siembra.
3.º Antes de la floración.
4.º Después de la maduración de los frutos.

Las horas más convenientes en el verano son por la noche, y mejor aun, poco antes del amanecer.

§ 4.—**Mejoramientos.**

319. *Sistemas de mejoramiento de terrenos.*—Se llaman obras de mejoramiento las que tienden á hacer cultivable terrenos pantanosos ó encharcados por imposibilidad ó dificultad de desagüe.

Las ventajas son evidentes é incalculables para la agricultura y la higiene.

Los mejoramientos pueden clasificarse así:

A) *Mejoramiento por desecación ó saneamientos.*

1.º Canalizaciones por desagüe natural. { Continua. / Intermitente.
2.º Canalizaciones por desagüe, con elevación.
3.º Saneamiento de marismas.
4.º Encauzamiento de los ríos.
5.º Pozos absorbentes.
6.º Drenaje ó alcantarillado agrícola.

B) *Mejoramientos por entarquinamiento.*

Entarquinamiento. { Continuo. / Intermitente.

A). *Saneamientos ó desecaciones.*

320. 1.º—*Canalización para desagüe natural y continuo.*—Es posible cuando la cota mínima del terreno es superior á la del nivel máximo ú ordinario del colector.

El estudio de un saneamiento de esta clase requiere las siguientes operaciones preliminares:

1.ª Plano topográfico exacto del terreno y plano acotado, mejor con curvas de nivel, á la equidistancia de 10 ÷ 20 centímetros.

2.ª Nivelación exacta de todas las corrientes de agua existentes.

3.ª Reunión de datos, antecedentes y observaciones respecto al régimen hidrométrico de la zona.

Estas observaciones, especialmente las relativas al estado altimétrico del agua en el recipiente destinado á la evacuación, deben hacerse durante mucho tiempo y en varios sitios.

4.ª Regularización del recipiente en previsión del aumento de la zona desecada.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

321. *Trazado de la red de canales.*—El colector ó colectores principales siguen las vaguadas principales, y los secundarios, las líneas análogas secundarias.

En general la dirección de las zanjas de orden inferior se subordina á la dirección de las filas de árboles, á las corrientes de agua existentes y en general á todas las exigencias agrícolas y locales.

La distancia entre los colectores varía de 500 ÷ 1.000 metros, y la de las zanjas, entre 50 y 100.

322. *Gasto de los canales.*—Conocida para cada canal la zona ó cuenca que ha de desaguar en él, y conocido el régimen pluviométrico de la cuenca, puede hacerse un diagrama para determinar el gasto de cada uno de los colectores, ateniéndose á alguno de los criterios siguientes:

a) Considerando la cantidad de agua caída en el día más lluvioso en un largo período de años y suponiéndola evacuada en veinticuatro horas.

b) Considerando la cantidad de agua caída en los mayores aguaceros y suponiéndola evacuada en el mismo tiempo que cae.

c) Considerando los $^3/_4$ de la cantidad de agua caída en el mes más lluvioso y suponiéndola evacuada en un día.

Después se toma en general como gasto el máximo que resulta de las diversas hipótesis. En cada uno de los precedentes hay que restar del agua de lluvia las pérdidas por evaporación y filtración.

Se supone que esas pérdidas son, como término medio, del 80 por 100 en los terrenos arenosos y el 20 por 100 en los terrenos fuertes.

Hay que tener en cuenta que el agua se almacena en los canales, que se llenan antes de que hayan desaguado todo el gasto.

Todos estos elementos se tienen en cuenta en la fórmula empírica deducida por Bocci:

$$Q = \alpha \left(\beta + \frac{1}{\sqrt{S}} \right); \qquad (66)$$

en la que

Q = gasto medio en metros cúbicos por kilómetro cuadrado.

S = superficie de la cuenca en kilómetros cuadrados.

α = coeficiente, para el cual pueden tomarse los valores siguientes:

$\alpha = 1{,}25$ para tierras compactas sin arbolado.
$\alpha = 1{,}10$ » » con »
$\alpha = 0{,}90$ » permeables sin »
$= 0{,}89$ » » con »

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

β = coeficiente, que varía desde un mínimo de 0,07 (adoptado en el saneamiento de Burana) hasta un máximum de 0,20, que corresponde al aplicado en el Agro Romano.

La fórmula da resultados por defecto para cuencas pequeñas, menores de 9 kilómetros, para $S = 0$, $Q = \infty$.

Nazzani da la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\rho S h}{t}.$$

siendo

Q = gasto total de la cuenca saneada en metros cúbicos.

S = superficie de la cuenca en metros cuadrados.

h = altura total de agua caída durante una lluvia.

ρ = relación entre el volumen de agua que debe evacuarse en el tiempo t y el agua caída.

Se admite $\rho = 0{,}60 \div 0{,}70$.

t = tiempo fijado para la evacuación del agua.

Como término medio puede suponerse que el gasto varía de $0{,}80 \div 2{,}50$ litros por Ha.

323. *Pendiente y velocidad en las zanjas ó canales.*—La pendiente depende en gran parte de la del terreno que se sanea y de la velocidad límite que se señale, para evitar depósitos y socavaciones.

La velocidad mínima se supone de 0,30 metros; la máxima, de un metro para los terrenos flojos, y de 1,50 para los compactos.

Las pendientes varían en correspondencia de $0{,}2 \div 0{,}03$ en las zanjas; de $0{,}0005 \div 0{,}001$, en los de evacuación, y de $0{,}0001 \div 0{,}0005$ y menos, en los grandes colectores, según el grado de enturbiamiento del agua.

El colector principal puede ser horizontal si la pendiente del terreno es escasa, y entonces la evacuación es con movimiento permanente.

Si en algún trozo es muy fuerte la pendiente, se la reduce con rastrillos ó presas de 0,90 de altura, á la distancia de 1.000 metros una de otra.

324. *Secciones de las zanjas y canales.*—En general (véase número 99) se fija el talud α, que depende de la naturaleza del terreno.

Suele admitirse:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para terrenos rocosos.....	$\alpha = 26^0\ 40'$	$\alpha = 0{,}59$
» compactos (arcilla dura).....	$\alpha = 45^0$	$\alpha = 1{,}00$
Para terrenos ordinarios.....	$\alpha = 56^0\ 30'$	$\alpha = 1{,}50$
» porosos (arenas)...	$\alpha = 63^0\ 30' \div 68^0$	$\alpha = 2 \div 2{,}50$

Si se adopta la sección trapecial de máxima economía, se tiene:

$$p = \sqrt{\frac{\omega \cos \alpha}{2 - \operatorname{sen} \alpha}}$$

ω = sección del canal.

p = profundidad, que casi siempre se fija entre ciertos límites que dependen de las cotas del terreno y del recipiente de desagüe;

El gasto Q se deduce entonces de la

$$Q = \omega\, \gamma \sqrt{R_m\, i}$$

γ = coeficiente de resistencia; varía en función del radio medio, según una de las fórmulas dadas en los números 87 á 91.

La sección dicha de máxima economía da generalmente un ancho para la solera muy pequeño respecto á la altura; esto es muy conveniente, especialmente si el gasto es variable, pues se obtiene una velocidad suficiente aun en la época de estiaje.

No conviene que el ancho de la solera sea menor de 0.50 metros; la altura libre se fija en 0,20 metros en los prados y 0,40 ÷ 0,50 en los demás cultivos.

El gasto en las zanjas crece á medida que se desciende en el curso. Si la zanja es larga, se divide en trozos, aumentando para cada uno el ancho en 0,25 metros cada vez.

325. *Desagüe libre de los colectores.*—Se verifica el desagüe libre cuando el nivel del canal es superior al del agua en el recipiente, aun en las crecidas.

La dirección del desagüe debe secundar la del curso del recipiente. Para evitar los aterramientos, es aplicable cuanto se ha dicho respecto al desagüe de las alcantarillas.

326. *Canalización para desagüe natural intermitente.*—Cuando todo ó parte del terreno que se sanea no puede desaguar sobre el nivel del recipiente, se provee el bocal de una esclusa con compuertas (figuras 283 y 284).

Respecto á las condiciones de desagüe, hay que tener en cuenta los principios fundamentales de Guglielmini:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Caso 1.º—*Terreno horizontal ó casi horizontal.*—Son inútiles los diques, porque no impiden la inundación del terreno en las crecidas del recipiente si rebasan el nivel de las compuertas.

Caso 2.º—*Terrenos inclinados hacia el desagüe.*—Basta que el canal primario que atraviesa el terreno bajo esté limitado por un dique para que el terreno superior pueda desaguar continuamente sin invadir al inferior.

Fig. 283.

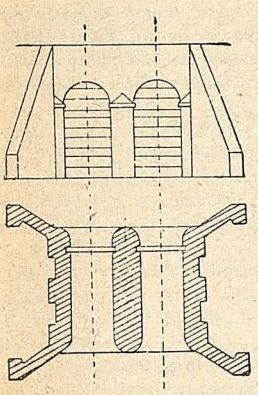


Fig. 284.

Caso 3.º—*Terrenos con pendiente grande.*—Hay una separación clara del terreno más elevado que el nivel de máxima, que tendrá el desagüe libre, y el que tendrá el desagüe cerrado con compuertas, y funciona como en el caso segundo.

Todo lo dicho para los colectores puede aplicarse á los canales secundarios.

327. *Esclusas de desagüe.*—Constan de un canal terminado por una instalación de compuertas que, elevadas, dejan libre el desagüe cuando el nivel del recipiente es bastante bajo, y cerradas, impiden extenderse por el terreno el remanso de las aguas del recipiente.

En las esclusas grandes se emplean construcciones parecidas á las esclusas de cuenco, y pueden tener una ó más luces ó vanos formadós por pilas (fig. 285). Los vanos están provistos de compuertas ó portones que se abren hacia el río, de modo que las aguas del canal, cuando el río está bajo (estiaje) ó las del río en las crecidas, contribuyen á tenerlas abiertas ó cerradas.

Las compuertas se mueven á brazo.

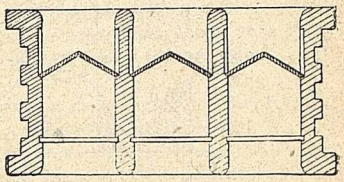


Fig. 285.

328. *Cálculo hidráulico de la esclusa.*—La luz de la esclusa es próximamente la mitad de la sección del cana, y se calcula como un vertedero sumergido, de modo que pueda evacuar el máximo gasto con las compuertas alzadas y bajo una carga igual á la di-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ferencia entre la máxima altura del agua en el canal que no produce inundaciones en los terrenos inmediatos y la máxima altura de avenidas en el recipiente. Además de esta condición, debe satisfacer la esclusa la de que, una vez abierta, toda el agua pueda salir en un tiempo dado, es decir, antes de que sobrevenga otro período de cierre, ó sea que no debe haber superposición de agua en los canales en dos períodos sucesivos de cierre.

Cálculo de la compuerta.—La compuerta, menos la parte que está constantemente sumergida en agua por ambos lados, se halla sometida al empuje del agua, proporcional en cada punto á la altura h del triángulo de presión (núm. 35). Si se quiere dividirla en zonas horizontales que estén sujetas al mismo empuje, se obtiene muy fácilmente con la construcción gráfica que aparece detallada en la figura 286.

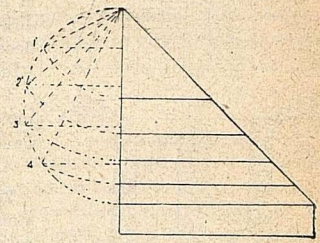


Fig. 286.

329. *Gasto en las zanjas ó canales de desagüe intermitentes.*—Cuando los desagües tienen esclusas, conviene, para que los terrenos no queden inundados en las épocas de cierre, que la red de canalización, además de poder evacuar todo el gasto en la época de desagüe, pueda almacenar y retener en la época de cierre toda el agua que cae en la zona. Esta capacidad se determina gráficamente del siguiente modo:

Supónganse superpuestos, y teniendo por abscisas comunes los tiempos (fig. 287), los diagramas:

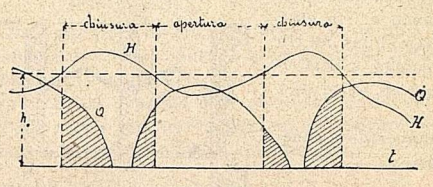


Fig. 287.

1.º El de las cantidades de agua Q caídas en la zona *(diagrama pluviométrico).*

2.º El de las alturas H de agua en el recipiente *(diagrama hidrométrico).*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En la misma figura, una recta paralela al eje de abscisas y á la altura h_0, igual á la altura sobre el fondo del recipiente de la solera de la esclusa, corta al segundo diagrama en puntos que señalan los límites de los períodos de abertura y cierre de la esclusa.

Trazando ordenadas por estos puntos, el área del diagrama primero, comprendida entre esas líneas en los períodos alternos de cierre, representará la capacidad buscada.

330. *Desagüe intermitente.*—El fondo del desagüe se tiene lo más alto posible y nunca bajo la solera del recipiente; si es necesario, se establece un canal hasta llegar al punto más bajo del recipiente. Este canal no debe tener diques, ó, á lo sumo, rebajados

La esclusa se coloca delante del río, á unos 50 metros, para que no sufra por efecto de las socavaciones.

El canal que comunica la esclusa con el río ha de estar limpio de los aterramientos de éste.

331. 2.º—*Canalización para desagüe artificial con elevación.* Cuando todo ó parte de un terreno carece de desagüe natural aun en bajas aguas, hay que recurrir á la elevación mecánica del agua.

En este caso es importantísima la división, la separación de las aguas altas, en que sea posible el desagüe total ó parcial de las bajas, para reducir al mínimum el de elevación.

La obra consiste en conducir por desagüe natural todas las aguas á un punto donde se halla el vaso de reunión. Será de ancho y de largo dos ó tres veces el ancho del canal colector que afluye á él, y de una profundidad de 0,50 metros, por lo menos, bajo la solera del canal.

En este caso se efectúa la toma de agua para las máquinas elevadoras colocadas en la casa ó instalación correspondiente (figuras 288 y 289). El agua sale de las máquinas á otro vaso ó depósito de descarga análogo al precedente, y del cual arranca el canal de desagüe.

La casa de máquinas ha de estar cerca del punto de reunión, para reducir todo lo posible la pendiente en los canales.

Funcionamiento de la estación elevadora.—Para tener una idea clara de cómo funciona, hay que formar los diagramas de los datos siguientes:

1.º Datos hidrométricos de la zona que se sanea.

2.º Idem íd. del recipiente de descarga y escala de gastos para diversos estados del agua.

3.º Escalas de desagüe de los colectores de reunión y desagüe

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

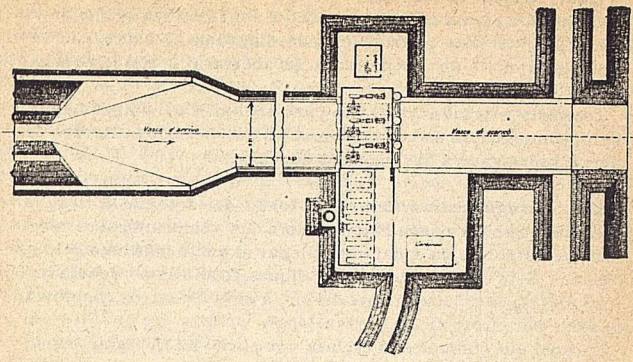


Fig. 288.

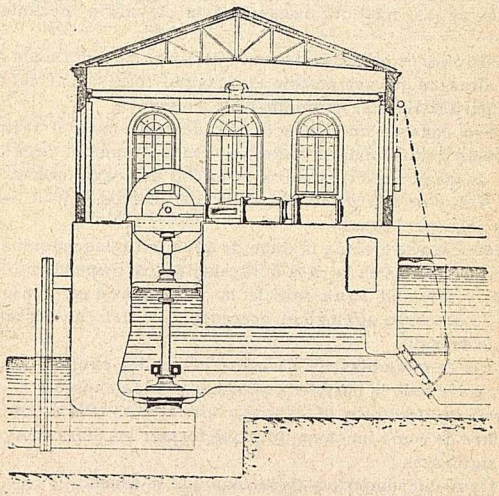


Fig. 289.

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

y diversos estados del agua en los recipientes de reunión y descarga.

En función de estos elementos es muy fácil deducir gráficamente la época en que ha de funcionar la instalación y el trabajo máximo, mínimo y medio anual de ella.

332. 3.º—*Saneamiento de marismas.*—Se llaman *marismas* los terrenos bajos, alternativamente cubiertos y abandonados por las aguas del mar á consecuencia de la periodicidad de las mareas.

El *saneamiento* ó *aprovechamiento* consiste en cerrar el paso á las aguas del mar ó terrestres y trazar una red de saneamiento y desagüe.

Defensa.—El problema se reduce á la construcción de dique, que impidan la inundación de la marisma en la pleamar; los diques ó malecones suelen hacerse de tierra (fig. 290), con el espesor y taludes necesarios para que no los destruya el oleaje.

Canalización.—Se procede como se ha explicado en el núm. 326.

Esclusas en el mar.—El cálculo es más definido que en el caso de desagüe en los ríos, y se aplican las fórmulas del desagüe á nivel variable. (Véase núm. 69.)

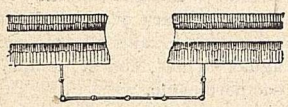


Fig. 290.

El cierre se hace con compuertas automáticas de eje horizontal puestas aguas abajo de la esclusa, donde arranca un canal horizontal que conduce al mar. La apertura ó cierre está determinada por la diferencia positiva ó negativa entre los dos niveles.

332 bis. *Desalamiento de terrenos.*—La presencia en el terreno de cantidades excesivas de ciertas sales (cloruros, nitratos y sulfatos de sodio, potásico, calcio, magnesio, etc.) impide el desarrollo y cultivo de muchas plantas; puede corregirse esto procediendo al *desalamiento,* que consiste unas veces en el lavado del terreno con aguas dulces, empleando algunos de los sistemas de riego citados; si el terreno salado es de algún espesor, hay que repetir periódicamente la operación; otras veces puede aprovecharse la existencia de alguna capa de agua dulce en los estratos, combinada con los riegos. En España se usa mucho el desalamiento por submersión, combinado con el entarquinamiento. En

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

algunos sitios se desala simultaneando con el cultivo del arroz. Por último, puede hacerse un desalamiento indirecto con el empleo de ciertos abonos orgánicos que neutralicen el efecto de las sales.

333. 4.º—*Encauzamientos y desviaciones de los ríos.*—Algunas veces, para desecar un terreno, se desvía el del recipiente, bien cambiando la desembocadura del recipiente ó cambiando el curso de éste con encauzamientos.

En el primer caso hay que estudiar bien las condiciones del nuevo desagüe respecto al río afluente y al receptor, para tener seguridad de que los lechos no han de sufrir elevaciones ni socavaciones á causa de los remansos que pudieran ocasionarse.

334. 5.º—*Pozos absorbentes* (llamados también en España *pozos perdidos, pozos secos).*—Se recurre á este sistema de saneamiento cuando debajo de una capa de terreno impermeable hay otra permeable seca que puede recibir y evacuar las aguas de los terrenos superiores. Requiere un estudio geológico especial.

Por numerosos y profundos que sean los pozos, es difícil puedan absorber todo el agua sobrante de la zona. Generalmente las aguas altas se evacuan con desagüe natural y se reservan los pozos para las aguas bajas y para desecar el terreno; sólo puede aplicarse en casos muy especiales y tiene, además, el inconveniente de que las aguas turbias, con el tiempo, pueden obstruir los pozos del terreno permeable.

335. 6.º—*Drenaje.*—Cuando las zanjas de saneamiento resultan numerosas y profundas, ofrecen inconvenientes de importancia.

1.º Restan al cultivo una superficie importante y subdividen el terreno dificultando las labores.

2.º Constituyen un peligro para los animales.

3.º Son costosas por los pozos que hay que establecer y por la conservación y limpias.

Se recurre entonces al *drenaje* ó desecación subterránea por medio de una red de alcantarillado que absorben la humedad del terreno y lo desaguan.

Este sistema evita los inconvenientes anteriores y tiene las siguientes ventajas:

1.ª Subfiltración en el terreno de toda el agua que cae en la superficie, por el tiro que ejercen los drenes, con lo cual se evita el exceso de humedad en las estaciones lluviosas y se favorece la frescura en las secas.

2.ª Circulación en cantidad notable del aire en el terreno hasta

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la profundidad de los drenes, favorecido por la remoción de tierras necesarias para establecer la red.

3.ª Cambios de temperatura menos bruscos y perjudiciales por la mayor permeabilidad que adquiere el terreno y la mayor cantidad de aire interpuesto.

4.ª Disminución en el terreno de la pérdida de partículas terrosas que ocasiona el corrimiento de las aguas, y el lavado que producen.

5.ª Acción favorable de la red sobre el régimen hidráulico de los canales de reunión por la relativa lentitud de la infiltración.

El drenaje puede ser general ó parcial.

336. *Drenaje en terrenos horizontales ó casi horizontales.*

Plano con curvas de nivel.—Ha de ser muy exacto y detallado, con curvas equidistantes 0,25 ÷ 0,50 metros; se señalan en el terreno.

Trazado de la red de drenaje.—El trazado lo constituye una red de drenes elementales ó absorbentes, que desembocan en uno ó más sistemas de zanjas de diversos órdenes, que vierten en el colector ó colectores.

337. *Cálculo de los drenes absorbentes.*—Se disponen en la dirección de la máxima pendiente. El ángulo que formen con los colectores, ha de ser mayor de 60°. Los desagües han de estar alternos y nunca uno frente á otro. La dirección de las zanjas absorbentes es la fija después de haber determinado las pendientes necesarias, y es casi indiferente el sentido, tratándose de terrenos horizontales ó casi horizontales.

Profundidad y distancia de los drenes absorbentes.—La profundidad H y la distancia $2\,d$ están ligadas por la fórmula

$$\frac{1}{h} - \frac{3}{4\,H} = \frac{3\,K}{4\,d^2}\,t.$$

(Véase figura 291 y Parte II, § 9, número 142, fórmula 48), en la que

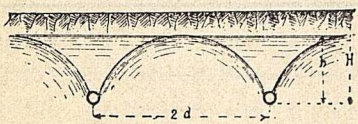


Fig. 291.

H-h es el espesor que se quiere desecar.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

t = tiempo que ha de emplearse en la desecación, que varía de cuatro á diez días.

k = coeficiente de permeabilidad del terreno, que se determina como se indicó en los números 133 y 135.

La profundidad H tiene límites que dependen del coste de la excavación y de la profundidad á que actúan las heladas.

Diámetro y velocidad.—Generalmente no se sujetan á cálculo; el diámetro D tiene valores muy pequeños, y se fija de $0{,}035 \div 0{,}04$ metros.

La velocidad U se fija en $0{,}80 \div 1{,}00$ metros, para que no haya aterramientos ni obstrucciones.

Gasto y longitud máxima de los drenes.—Se considera el gasto máximo en el desagüe. Está expresado por

$$2\,Q = \frac{\pi\,D^2}{4}\,U = \frac{K\,\lambda\,l}{R}\,H^2.$$

(Véase parte II, § 9, núm. 137, fórmula 40 *a*.) De la que se deduce l = longitud máxima.

Para valor de R = radio de presión puede tomarse el máximo valor d, semidistancia de los drenes.

Entonces se tiene:

$$\frac{\pi\,D^2}{4}\,U = \frac{2\,K\,\lambda\,H^2}{d}.$$

Para determinar el producto $K\,\lambda$, véase núm. 145.

El valor hallado para l es un máximum; pero en general no se admiten longitudes mayores de 250 metros.

Pendiente.—Se suele calcular con la fórmula de Mollendorf:

$$U = 3{,}59\,\mu\,\sqrt{\frac{50\,D\,i}{l + 50\,D}}$$

en la que se tiene:

Para $D = 0{,}03$	0,05	0,10	0,15
$\mu = \frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{7}{8}$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Las tablas siguientes de Barrol Leclèrc dan empíricamente las relaciones entre los diversos elementos de la red y pueden servir de guía para el cálculo de la máxima:

TABLA XLIX

NATURALEZA DEL TERRENO	DISTANCIA	
	Máxima.	**Mínima.**
Arena pura gruesa	16	18
» ferruginosa	13	15
» arcillosa	12	14
Terreno turboso	11	14
Arena terrosa	10	12
Arcilla ordinaria	9	11
» grasa	9	11
» compacta	8	9
» humus	8	11
» plástica	6	7

TABLA L

Distancia m. $2\,d$	Longitud l para una pendiente $i = \frac{y}{l}$ de m.				
	0,002	0,005	0,010	0,015	0,020
7	130	225	332	416	485
8	114	197	292	364	425
9	101	175	259	324	378
10	91	158	234	292	340
11	83	143	212	265	309
12	76	132	195	243	284
13	61	122	181	226	264
14	65	112	166	208	242
15	61	105	156	194	227
16	57	99	146	183	213

338. *Cálculo de los colectores.*—El gasto de cada trozo está dado por la suma de los gastos afluentes. La velocidad, generalmente, se fija alrededor de un metro, y la pendiente y el diámetro se calculan con la fórmula de Mollendorf (núm. 337).

Análogamente se hace para los colectores.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

339. *Drenaje en los terrenos muy inclinados.*—En este caso las aguas subterráneas no están estancadas ó casi estancadas, sino animadas de movimiento uniforme ó permanente. (La teoría y fórmulas referentes á este caso pueden verse en la parte II, § 9, *D*).

Si el curso subterráneo es contínuo y procede de terrenos superiores, basta limitar la zona que se quiera drenar con una alcantarilla perimetral que intercepte la corriente de agua y la conduzca á un colector.

Si el curso es de nivel variable y debido á las lluvias que caen en el terreno y éste es de naturaleza arcillosa y poco permeable para desecarse por sí, se disponen uno ó más drenes horizontales ó poco inclinados, según las líneas de nivel del terreno, empezando por las más bajas, hasta que se consiga el efecto de reunir activamente las aguas que empapan las zonas superiores y acelerar de este modo el movimiento del agua.

340. *Drenaje de los terrenos con arbolado.*—Es un inconveniente muy grande en los drenajes la formación de las llamadas *colas de zorra* ó grupos de raices que se desarrollan interiormente en los tubos y los obstruyen.

Se han intentado muchos sistemas para evitarlo.

Método Rerolle.—Hacer impermeables los drenes, cubriendo las juntas con manguitos y cerrando las comisuras con cemento hidráulico.

La entrada del agua se efectúa entonces por medio de pozos verticales; cada tres metros en los que penetra un tubo abierto por debajo y en comunicación con el dren superior, y rodeado de cantos para facilitar la filtración.

Método de Morgan.—Próximo á las filas de árboles y paralelos á ellas se disponen dos drenes que se rellenan de piedra y faginas y entre ellos se establece la canalización ordinaria de desecación. Hay que cortar todos los árboles que estorben á la red.

Conviene usar un sistema mixto, practicando, según los casos, el primero ó segundo sistema y si no obstante se formase alguna cola, arrancarla empleando una cadena de unos 20 metros de larga.

341. *Drenaje intermitente.— Arrozales.*— El cultivo de los arrozales conduce á alternar una sumersión completa de la zona y un buen saneamiento. Se procede como está indicado en la figura 292, dividiendo la zona en compartimentos ó cajas, rodeadas de malecones, que permitan una sumersión de unos 40 centímetros de agua. En sentido transversal están banqueadas las cajas por alturas de 0,60 metros aproximadamente de nivel á nivel. Los male-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cones longitudinales llevan pozos, á los que llegan y arrancan las tuberías colectoras de drenaje y se abre ó cierra la comunicación con ellos según convenga.

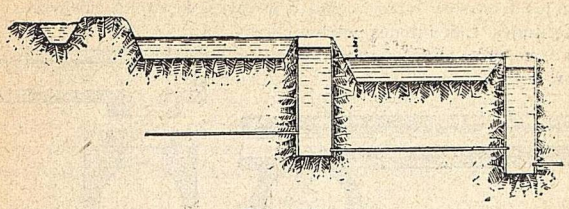


Fig. 292.

342. *Drenaje vertical.*—Está constituído por un sistema de tubos verticales que desempeñan un oficio análogo al de los pozos absorbentes.

343. *Constitución de los drenes y red de saneamiento.*—Se emplean materiales y disposiciones variadas.

En los terrenos consistentes y tenaces y para drenajes que no hayan de durar mucho, puede usarse el sistema indicado en la figura 293. Se excava una zanja, fijando en el fondo dos banquetas que limiten otros pozos pequeños de unos 0,08 ÷ 0,10 metros de ancho y 0,15 ÷ 0,20 de profundidad, cubriéndola con ramaje ó faginas, de modo que la tierra que se ponga encima se consolide y forme una especie de bóveda. También en estos terrenos, después de hecha la zanja, pueden colocarse en el fondo un molde circular

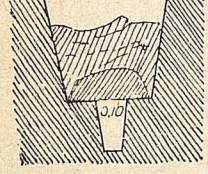


Fig. 293.

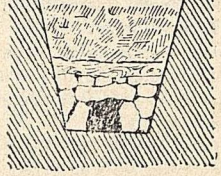


Fig 294.

ú ovoidal y cubrirlo de tierra que se apisona bien, quitando luego el molde. Ninguno de los dos sistemas sirven, si ha de ser permanente el drenaje. Cuando se disponga de piedra, puede adoptarse

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el sistema que representa la figura 294 y también combinar las piedras y cantos con faginados.

Si ha de recurrirse á materiales artificiales, lo más conveniente son los drenes de barro cocido ó de gres, de varios diámetros y longitudes. Las uniones pueden hacerse como se ve en las figuras 295 y 296 que representan un tipo.

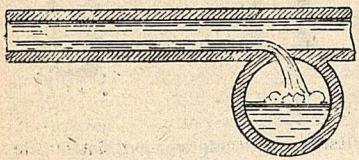


Fig. 295.

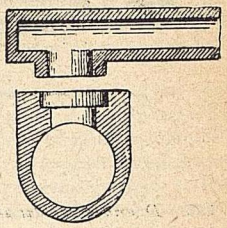


Fig. 296.

B).—*Entarquinamientos.*

344. *Entarquinamientos.*—Consisten en elevar gradualmente el nivel de los terrenos que ofrecen deficiencias de desagüe por medio de sucesivas deposiciones de aguas turbias, hasta que sea superior al nivel del agua del colector ó recipiente. Cuando las condiciones de la localidad se prestan á ello, este mejoramiento es muy ventajoso, porque, una vez ejecutado, no hay gastos de conservación y además enriquece el terreno. El entarquinamiento puede ejecutarse:

1.º *Por acción continua.*—Se deja llegar al terreno una capa tan delgada de agua que pueda clarificarse durante el recorrido entre la entrada y la salida al colector.

2.º *Intermitente.*

Primer sistema.—Se excavan zanjas que se llenan con las aguas turbias del río, que se dejan reposar, y luego se distribuye el sedimento en los terrenos próximos.

Segundo sistema.

a) *Decantación total interrumpida.*—Se rodea de diques de recinto ó caballetes el terreno y se introducen las aguas turbias, que se dejan depositar hasta que están completamente claras, para después expulsarlas é introducir otras.

b) *Decantación parcial interrumpida.*—Cuando las condiciones locales no permiten evacuar toda la capa, se renueva solamente la capa superior en cuanto se ha clarificado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

345. *Altura que debe asignarse á las tierras que se entarquinan sobre el nivel del recipiente.*—Se usa generalmente la fórmula

$$H = 0{,}15\,(d \pm 10\,a) + 2; \qquad (70)$$

en la que

H = altura buscada en metros.

d = distancia del terreno al recipiente (en kilómetros), ó sea longitud del canal de desagüe de las aguas claras.

a = ordenada del terreno existente, positiva ó negativa, bajo el nivel del agua, en la desembocadura del canal de desagüe.

Esta fórmula tiene también en cuenta lo que se empapan los terrenos de aluvión, que se evalúa en $\frac{1}{3}$.

Otra fórmula también muy usada es la siguiente:

$$H = 2{,}01 + \frac{3\,d}{20} - \frac{3}{2}H';$$

en la cual

H = altura total de la capa de aluvión para el entarquinamiento completo.

d = longitud en kilómetros del canal de desagüe de aguas claras.

H' = altura del terreno que se entarquina sobre el nivel del mar ó del recipiente.

346. *Tarquines.*—Para que el mejoramiento de terrenos por entarquinamiento resulte conveniente, es necesario poder recurrir á un curso de agua natural que suministre una cantidad suficiente de légamos para que el entarquinamiento se haga en un período de tiempo corto.

La riqueza de las aguas turbias ó, como se dice, el *coeficiente limométrico* de un curso de agua varía bastante con la naturaleza del terreno que atraviesa, con la velocidad y el gasto. Generalmente se admite que las aguas llevan en suspensión materiales en cantidad del 0,74 ÷ 2,00 por 100 de su propio volumen. En algunos casos excepcionales ese coeficiente puede elevarse hasta el 7 por 100.

En las derivaciones sucesivas del agua turbia y en las decantaciones se depositan primero los materiales más gruesos y menos fertilizantes, y así van decreciendo hasta el *limo*, que es el más

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

fértil. Si el fondo del terreno está muy bajo, pueden admitirse al principio la grava y arenas gruesas, elevando luego el umbral de la entrada para limitar la admisión á las materias más finas.

347. *Admisión de las aguas turbias en el terreno que se va á entarquinar y evacuación de las aguas claras.*—Cuando todo el río desagua directamente en el terreno que se va á entarquinar, conviene dejar bocales grandes en los diques, para dar fácil salida al agua é impedir que se eleve el nivel é inunde los terrenos secos.

Admisión de un río regularizado.—Consiste en derivar el agua del río, en la cantidad necesaria, con una esclusa regulatriz, y conducirla al terreno por un canal derivador, para después de clarificada restituirla al cauce primitivo ó á otro recipiente, mediante el correspondiente canal de desagüe.

La toma y canal conductor pueden ser permanentes ó provisionales, con compuertas ordinarias ó automáticas y oscilantes, como en las tomas de agua para riegos.

Si hubiese que elevar el agua de derivación, podría hacerse como en los canales de riego.

El gasto derivado puede no ser constante y depender del estado de agua del recipiente, para que éste, entre ciertos límites, no quede escaso de agua.

Conviene que los canales de derivación y desagüe tengan la velocidad de $1 \div 2$ metros, y la pendiente de $0{,}0005 \div 0{,}0003$ por metro. La solera del canal de derivación debe estar más elevada que el fondo del recipiente, para que no se introduzcan materiales muy gruesos en el origen, y en el extremo algo más bajo que la cota que ha de tomar el terreno entarquinado, para que, terminada la obra, pueda recibir el desagüe del terreno bonificado.

Si el canal de unión del terreno con el recipiente es de solera horizontal, puede servir como canal de derivación y de desagüe, según el estado de agua del río recipiente respecto al terreno. En ambos casos funciona con movimiento permanente.

348. *Diques.—Dique maestro ó principal* es el que rodea por completo al terreno que se va á mejorar y tiene la cota superior igual á la fijada para el terreno mejorado.

Diques secundarios son los que subdividen la cuenca ó terreno en varias parcelas, que se van elevando sucesivamente.

Los diques secundarios son $30 \div 50$ centímetros más bajos que los principales. La coronación de los diques principales ha de tener el ancho suficiente para que pueda servir de pasos y caminos de servicio. Entre cada dos parcelas se establece la comunicación

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

por medio de vertederos. En las figuras 297, 298 y 299 se indican algunos detalles de la estructura de los diques.

349. *Orden que debe seguirse en los entarquinamientos.*—Dividido el terreno en parcelas, se entarquinan primero los terrenos superiores y después los más bajos; antes los contiguos al río y luego los más lejanos.

Las dificultades mayores se presentan al final de la operación, para dar á los terrenos mejorados la inclinación necesaria para el desagüe, dejar bien encauzados los cursos de agua y cubrir la superficie con tierras propias para el cultivo.

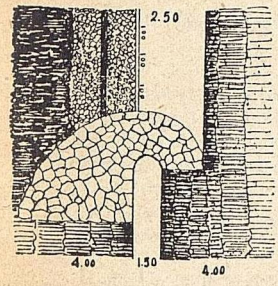


Fig. 297.

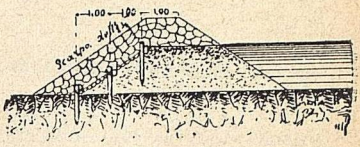


Fig. 298.

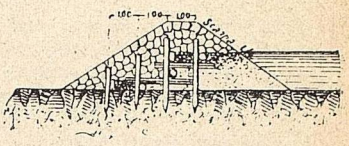


Fig. 299.

350. *Desagüe de las aguas exteriores.*—Las tierras que quedan fuera del dique que limita al terreno deben tener todas las condiciones de desagüe independientes de la del terreno que se mejora.

Para ello hay que fijar estas zonas, haciendo converger las aguas á una red de zanjas, que se reunan en un colector único con desagüe natural, que generalmente se sitúa al lado del dique de contorno.

351. *Tiempo necesario para un entarquinamiento.* — Para prever aproximadamente el tiempo necesario para un entarquinamiento, hay que tener en cuenta:

1.º Cantidad de materias del agua turbia (coeficiente limométrico).

2.º Cantidad de materias que quedan en el agua devuelta.

3.º Entumecimiento de las tierras á medida que se efectúa el entarquinamiento.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

4.º Marcha irregular de los depósitos de las turbias que pueda producir una elevación del terreno mayor que la fijada.

De la dificultad de evaluar todas estas condiciones resulta que el tiempo empleado efectivamente es casi siempre mayor del previsto. Puede admitirse que en las mejores condiciones se obtiene una elevación de 10 ÷ 20 centímetros al año; pero muchas veces no se llega á más de 1 ÷ 2 centímetros como término medio anual.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Parte cuarta.

§ 1.— Regularización de terrenos y de las aguas.

352. *Regularización agrícola de las tierras.*—Este tema corresponde más á la agricultura y se refiere á la manera de acondicionar el terreno para cada cultivo.

Hidráulicamente, la regularización consiste en allanar el terreno, sustituyendo las superficies irregulares de éste, por zonas con pendientes uniformes, en las que corra el agua por medio de zanjas, dispuestas especialmente, para que no se estanque en ningún punto.

Las zanjas actúan, respecto á las aguas filtrantes, como una red de alcantarillado, y sus elementos se calculan análogamente á los tubos de drenaje.

Las parcelas tendrán, por consiguiente, un ancho que será función de la permeabilidad del terreno (generalmente de $20 \div 30$ metros). La longitud depende de la configuración del fondo y de la economía de los transportes ($100 \div 150$ metros).

353. *Terrenos horizontales ó casi horizontales.*—En éstos consiste la regularización en darles una inclinación longitudinal ó transversal hacia las colinas. A las colinas se les da una pendiente de $0{,}40 \div 0{,}80$ por 1.000.

354. *Terrenos inclinados ó laderas.*—La regularización es muy indeterminada y hay muchos sistemas; todos ellos tienden á impedir la acumulación del agua en grandes masas, haciéndola descender separada y subdividida.

355. Se divide el terreno en zonas longitudinales con los desagües dirigidos según la línea de máxima pendiente. No es aplica-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ble más que cuando la inclinación es menor de 2 ÷ 3 por 100, porque de otro modo el agua adquiere una velocidad excesiva, aunque se pongan rastrillos.

356. Los desagüaderos se disponen en hélice, siguiendo las irregularidades del terreno; da buen resultado cuando la ladera es de pendiente bastante uniforme, para que resulten bien iguales las explanaciones.

357. En este tercer sistema la dirección de las regueras es casi normal á la línea de máxima pendiente. El paso de una á otra se hace por medio de zanjas, dispuestas según la línea de máxima pendiente; á veces éstas requieren rastrillos, empedrados, revestimientos de piedra en seco, etc. La distribución más conveniente son este sistema, es lo que tiende á la regularización progresiva del terreno.

Por esta razón las zanjas de mucha inclinación se disponen siguiendo los trozos que se quieren rebajar y los transversales con una pendiente mínima correspondiente á los senos, represando las aguas abajo de modo que formen verdaderos entarquinamientos.

La figura 300 representa una de éstas disposiciones. Todas las aguas se recogen en una zanja general de base.

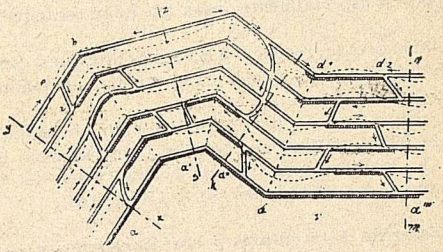


Fig. 300.

Además de las indicaciones hechas, ha de tener muy en cuenta el ingeniero las circunstancias locales y aprovecharlas para obtener mejor el resultado que desea.

358. *Banqueos.*— Consisten en reducir la pendiente por terrazas ó banquetas, sostenidas por muretes ó muros de piedra en seco. La pendiente transversal de las banquetas se dispone hacia aguas arriba, para recoger el agua en zanjas ó regueras situadas al pie del muro superior y conducirlas después á la parte llana.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Las banquetas contenidas por tierras herbáceas difícilmente pueden exceder de 2 metros de altura y requieren un talud, por lo menos, de $\frac{1}{3}$ de base por 1 de altura; además restan mucho espacio al cultivo. Los muros de piedra en seco ó con mortero (en este caso provistos de mechinales) son más ventajosos, pero son más costosos; se emplean sólo cuando hay piedra muy próxima y los cultivos son remuneradores.

359. *Regularización de montes.*—En los terrenos montañosos muy accidentados pueden hacerse regularizaciones, y para ello hay que efectuar las operaciones fundamentales siguientes, que siempre han de hacerse con criterio práctico, estudiando la solución más económica.

a) *Plano de la zona montañosa.*—El plano ha de ser muy detallado, á escala de 1 por 1.000, por lo menos, y con las curvas de nivel á la equidistancia máxima de 1 á 2 metros. El relieve debe extenderse á las localidades inmediatas adyacentes, superiores é inferiores de nivel. Es indispensable verificar un reconocimiento y estudio del terreno, conviniendo también obtener fotografías.

b) *Proyecto de máxima.*—En función del estado actual del terreno, conviene desde el principio formarse un concepto exacto de la regularización que se va á efectuar. Para ello hay que fijar la dirección de las zanjas transversales y de los colectores longitudinales, así como la del colector general; el número y pendiente de las zonas en que se dividirá la regularizada, posición y entidad de las degradaciones y rellenos, teniendo muy presente que las aguas destinadas á erosionar ó á aterrar, una vez efectuada la regularización, no han de producir socavaciones ni aterramientos.

c) *Foso de reunión.*—La parte superior ó cima de las laderas se presenta generalmente plana y algo convexa. Alrededor de ella se excava una zanja de solera horizontal, que tiene por objeto recoger y almacenar las aguas altas para distribuirlas en los puntos más convenientes. Las zanjas de erosión arrancan con la solera más elevada que la de la fosa de reunión; el primer trayecto tiene muy poca pendiente, para evitar un *tiro* ó *salida* muy fuerte que pudiera perjudicar á los cajeros de la zanja de reunión; la regulación se hace por medio de tepes que obstruyan la boca de toma.

La sección de la zanja de reunión depende de la extensión de la zona á que sirve, de la cantidad de agua que puede recibir en la unidad de tiempo y del número y distancia de las zanjas de descarga.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En general no conviene que la sección sea mayor de $\frac{1}{3}$ metro cuadrado, para evitar daños en los cajeros; si es preciso aumentarla, se hace gradualmente, á medida que el dique ó cajero está bien consolidado.

d) *Presas en las depresiones iniciales.*—Cuando la zanja de reunión de las aguas superiores no es suficiente para interrumpir la corriente que desciende por las vaguadas naturales de la ladera, se la elimina mediante presas, construídas con objeto de elevar el nivel del agua y dirigirla á las zanjas de erosión.

Estas presas, además de detener y encauzar el agua, favorecen la sedimentación, y, por consiguiente, el relleno de las depresiones. Deben construirse en dirección paralela ó coincidiendo con las zanjas proyectadas en el terreno, y nunca se elevan á más altura de la que ha de alcanzar el terreno regularizado.

e) *Estanques de aterramientos.*—Defendida, como se ha explicado anteriormente, la parte alta de la ladera, rellenas las depresiones y desviadas y encauzadas las aguas, se inician los aterramientos en las zonas más alejadas y bajas respecto al nivel de la regularización proyectada. Para ello se establecen diversos estanques por medio de diques, hechos con tierras extraídas aguas arriba, y se hace que el agua pase de uno á otro hasta que salga completamente clara; se regula el número y disposición.

Los diques se ponen en la dirección de las líneas divisorias de las futuras zonas ó paralelos á ellas. La elevación se hace gradualmente, á medida que la parte construída está bien consolidada (fig. 301). El paso del agua de uno á otro se hace por una

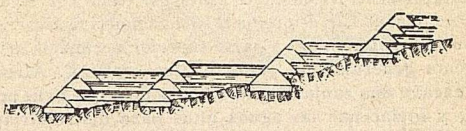


Fig. 301.

reguera curva de muy poca pendiente, para evitar la remoción de los sedimentos de la banqueta superior. Estas regueras de unión se ponen alternativamente á derecha é izquierda de los diques, para que el agua haga un recorrido largo, descienda en zigzag, perdiendo velocidad y depositando todos los arrastres.

De vez en cuando se invierte la disposición de las regueras de unión, para obtener la inversión del sentido de la corriente. Cada

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

parcela va provista de un aliviadero para desaguarla. Las figuras 302 y 303 representan una regularización: el terreno inicial y hecha la obra.

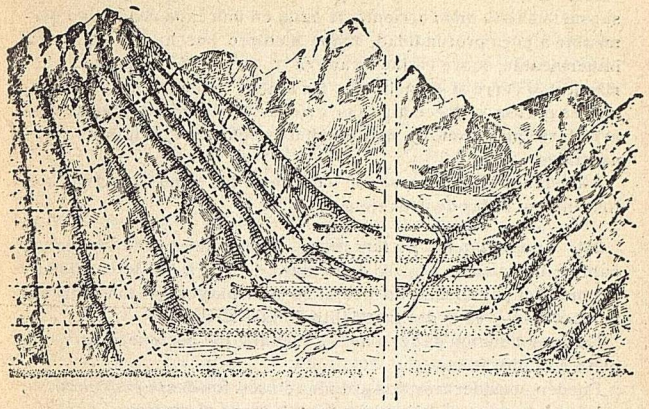


Fig. 302.

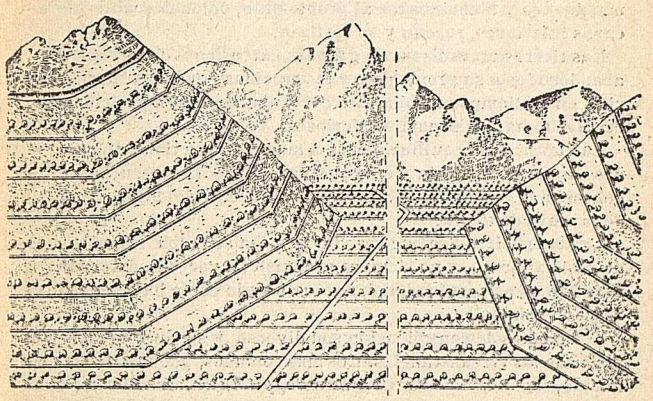


Fig. 303.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ 2.—**Defensa contra las corrientes subterráneas y superficiales.**

360. *Defensa contra las aguas subterráneas.*—Cuando en el subsuelo existe una corriente de agua en una capa de terreno permeable á poca profundidad, acaba siempre por hallar una capa impermeable, sobre la que se apoya y queda, si el terreno es horizontal, ó corre si es inclinado. En ambos casos, si la capa superior es porosa y ofrece algunas grietas ó hendiduras, puede desarrollarse paludismo; y si la presión es suficiente, originarse manantiales.

La defensa en estos casos se hace como las tomas de aguas con fontanillas, redes de drenaje ó pozos.

361. *Consolidación de terrenos.*—El movimiento de las aguas subterráneas unido al peso de la masa de tierra puede ocasionar, además del paludismo, un perjuicio aún mayor en los terrenos montañosos, y es el deslizamiento de las tierras.

La consolidación de terrenos es trabajo que pertenece por completo á la hidráulica.

Pueden considerarse dos grandes clases: los *desprendimientos*, y los *descensos* ó *deslizamientos* ó *tierras movedizas*.

Los primeros tienen lugar cuando por las influencias atmosféricas la capa terrosa superior se divide en bloques que, separados uno de otro y abandonados al propio peso, dejan descubiertas las capas inferiores, ruedan y se deslizan.

Las tierras movedizas son grandes extensiones de terrenos que, abandonadas á su propio peso y favorecidas por otras circunstancias, en un tiempo más ó menos corto abandonan su posición, descendiendo hacia las partes inferiores.

La ruptura del equilibrio en una masa terrosa tiene, en general dos causas: una activa y otra pasiva; esto es, la destrucción de la cohesión en las masas arcillosas por la acción del agua y el peso de la masa de tierra.

La superficie sobre que resbala la masa se llama superficie de de deslizamiento, y no siempre preexiste; á veces se determina á mayor ó menor profundidad, según el modo como ha penetrado el agua en el interior.

Los medios de consolidación son diverso, y su conveniencia depende de las circunstancias. Los más comunes, además del saneamiento, son: *muros de sostenimiento, pilotajes, escolleras, banquetas, plantaciones, revestimientos, presas* y *desecaciones*.

362. 1).—*Desecaciones.*—Es el medio mejor y más radical de eliminar la causa.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Si después se reunen las aguas en fosos y su velocidad ocasiona erosiones ó asientos, no hay obras más ventajosas que los diques escalonados (ó grandes rastrillos) calculados como los muros de sostenimientos. Donde son frecuentes estos diques, llamados también *vertederos*, difícilmente se desmoronan ni atacan los taludes.

Las desecaciones pueden hacerse por diversos medios. A veces bastan las zanjas para reunir y conducir las aguas subterráneas de modo que no causen daño.

Las atarjeas rellenas son zanjas en que se coloca piedra gruesa, grava, etc., y cubiertas de manera que el agua, entre el relleno y la capa arcillosa, corra fácilmente sola ó para reunirse á otras aguas.

El avenamiento ó *drenaje* consiste en una red subterránea de tubos, generalmente de barro cocido, que llevan en la parte superior agujeros, por los que el agua que circula por el terreno, penetra en aquellos y se aleja.

Para que el drenaje dé buen resultado debe colocarse sobre la capa impermeable y encajar en ella la mitad. Cuando hay incertidumbre ú otra dificultad, se cubren los tubos con una capa de materiales impermeables de 0,20 á 0,50 metros de espesor.

Las atarjeas consisten en pequeños canales de fábrica cubiertos. Deben estar apoyadas en la capa impermeable y presentar aguas arriba orificios, para que el agua pueda penetrar en ellas fácilmente y evacuarse; la dirección ha de ser normal á la en que corren las aguas.

Pozos colectores.—Sirven para reunir directamente las aguas que corren por el suelo á las que recogen las atarjeas; el desagüe ha de ser libre, para que afluyan con facilidad: se extraen de los pozos mecánicamente. Hay que estudiar detenidamente su posición.

Las galerías de desecación tienen el mismo objeto que las atarjeas, y deben disponerse en el mismo sentido y presentar análogas aberturas, que han de ser practicables, y construídas de modo que el agua no pueda filtrarse ni perderse entre ellas y la capa impermeable.

El estudio general de las obras de consolidación debe hacerse como en la construcción de una red de alcantarillado ó evacuación. Conviene estudiar por qué puntos entra el agua en el banco ó capa móvil; á qué profundidad se encuentra la capa impermeable, lo que se consigue con minuciosas y repetidas nivelaciones y ensayos. Conocido el terreno, es más fácil deducir si conviene establecer atarjeas transversales ó galerías para recoger el total de las aguas, ó varias galerías colectoras con pequeñas derivaciones, ó varios pozos colectores; el concepto que ha de guiar es

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

alejar las aguas de donde brotan, con alguno de los medios indicados, y guiarlas mediante pequeñas conducciones para que no puedan extenderse por el suelo. (V. obras para extracción del agua. Minerología del agua.)

363. 2.)—*Muros de sostenimiento.*

1).—*Muros de fábrica con mortero.*—El espesor b del muro en la coronación, se deduce, según sea el paramento exterior vertical ó en talud de $\frac{1}{10}$ ($s = 0{,}1\ h$) ó de $\frac{1}{5}$ ($s = 0{,}2\ h$) y según la altura h del terraplén superior de la tabla siguiente que comprende tres casos.

Primer caso.—Terrenos de grava en equilibrio bajo un ángulo máximo sobre el horizonte $\omega = 45°$.

Segundo caso.—Tierras de consistencia ordinaria: $\omega = 33°$ (caso medio).

Tercer caso.—Arenas flojas ó arcillas empapadas: $\omega = 27°$.

La tabla se ha calculado en la hipótesis de su coeficiente de seguridad = 2, suponiendo de 1.600 y 2.400 kilogramos los pesos específicos del terreno y de la fábrica.

TABLA LI

$\frac{h_1}{h}$	VALOR DE $\frac{b}{h}$								
	Primer caso: $\omega = 45°$			Segundo caso: $\omega = 33°$			Tercer caso: $\omega = 27°$		
	$s = 0$	$s = 0{,}1\ h$	$s = 0{,}2\ h$	$s = 0$	$s = 0{,}1\ h$	$s = 0{,}2\ h$	$s = 0$	$s = 0{,}1\ h$	$s = 0{,}2\ h$
0	0,273	0,179	0,096	0,361	0,265	0,179	0,408	0,312	0,224
0,1	0,299	0,204	0,120	0,393	0,297	0,209	0,443	0,342	0,257
0,2	0,319	0,224	0,139	0,417	0,321	0,232	0,468	0,371	0,282
0,3	0,335	0,240	0,154	0,436	0,339	0,250	0,487	0,390	0,300
0,4	0,348	0,252	0,166	0,450	0,353	0,264	0,502	0,405	0,315
0,5	0,359	0,263	0,177	0,462	0,365	0,276	0,513	0,416	0,325
0,6	0,367	0,271	0,184	0,472	0,375	0,286	0,522	0,425	0,334
0,7	0,375	0,279	0,192	0,480	0,383	0,293	0,529	0,432	0,341
0,8	0,382	0,286	0,199	0,486	0,389	0,299	0,535	0,438	0,347
0,9	0,388	0,292	0,204	0,492	0,395	0,305	0,540	0,443	0,352
1	0,393	0,297	0,209	0,490	0,400	0,310	0,544	0,447	0,356
1,5	0,411	0,315	0,227	0,513	0,416	0,325	0,558	0,461	0,369
2	0,423	0,326	0,238	0 523	0,426	0,335	0,566	0,469	0,377
2,5	0,430	0,333	0,245	0,529	0,432	0,341	0,571	0,474	0,382
3	0,436	0,339	0,251	0,534	0,437	0,346	0,574	0,477	0,385
4	0,443	0,349	0,257	0,539	0,442	0,351	0,579	0,482	0,390
6	0,451	0,353	0,265	0,545	0,448	0,357	0,583	0,486	0,394
10	0,458	0,361	0,272	0,550	0,453	0,362	0,587	0,490	0,398
∞	0,469	0,372	0,283	0,559	0,462	0,370	0,594	0,497	0,405

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Cuando resulta $b < 0{,}60$ metros se toma siempre $b = 0{,}60$ metros.

2) *Muros en seco.*--Espesor ~ 50 por 100 mayor que los valores de la tabla precedente para taludes de $\frac{1}{5}$ ($s = 0{,}2\,h$); 25 por 100 más, si el talud es de $\frac{1}{4}$. Espesor mínimo en la coronación $b = 0{,}60$ metros. Para $h > 9$ metros conviene reforzarlos con hiladas intermedias hechas con mortero y revestido con un muro de $0{,}25 \div 0{,}30$ metros de espesor.

3) *Muros de sostenimiento con contrafuerte.*—Los muros de sostenimiento con contrafuertes exteriores ó interiores, no pueden construirse más que conociendo bien las condiciones de la localidad, y muy especialmente los puntos donde se han de cimentar los contrafuertes. No es necesario que los muros conserven el mismo espesor y los contrafuertes la misma distancia y saliente; todo ha de subordinarse al máximo efecto y mínimo coste. Análogamente con contrafuertes interiores ó arcos de descarga, requieren estudios analíticos especiales en el momento de la construcción y no cabe dar reglas generales.

En los casos ordinarios se puede asignar á los contrafuertes exteriores una distancia de 4,00 metros, el ancho de un metro; $0{,}17\,h$ de espesor, siendo h la altura, y el saliente igual al espesor del muro.

Para los contrafuertes interiores: ancho 1,50 metros; distancia 5,50 metros, con arcos de descarga de 0,60 distantes verticalmente 2,20 metros; espesor medio del muro $0{,}10\,h$ (altura $= h$); talud exterior $\frac{1}{10}$; saliente de los contrafuertes $0{,}15\,h$.

364. 3).—*Pilotajes.*—Los pilotajes aislados tienen poca resistencia, pero cuando se colocan en filas sólidamente encepadas pueden considerarse como buen sostenimiento.

365. 4).—*Escolleras y pedreras.*—Las pedreras ó escolleras dan óptimos resultados en algunos casos. Consisten en una zanja profunda rellena de piedra en seco que permite al agua correr libremente por los huecos entre piedra y piedra. Dan óptimos resultados para desecaciones, pero difícilmente pueden aplicarse para sostener grandes zonas de terreno que tienden naturalmente á descender.

366. 5).—*Banquetas* (fig. 304).—Las banquetas practicadas cada dos metros de altura, con un ancho de 0,75 metros, y pendiente al

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

interior, contribuyen bastante á la estabilidad de los taludes en las excavaciones profundas.

367. 6).—*Plantaciones.*—Las plantaciones son un óptimo medio de consolidación, tanto porque contienen los terrenos que se disgregan, como por ser una verdadera defensa contra los agentes atmosféricos.

Las plantas más á propósito para este fin son: la alfalfa, espino blanco, acacia, sauce, chopo, abedul, etc., etc.

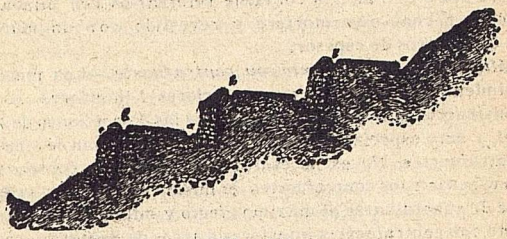


Fig. 304.

368. *Trayectoria de un terreno móvil.*—Muchas veces puede averiguarse la trayectoria que recorre un terreno flojo, móvil. Basta para ello conocer el punto en que se ha separado y el punto bajo donde ha llegado independiente del nivel y la distancia. La curva interior recorrida se determina por puntos, como el *Perfil de compensación* de un curso de agua que transporta materias, pues tal es el curso real (véase), y se tiene una parábola de enésimo grado en el caso único de que no haya una capa resistente, pues entonces se la determina por nivelación referida á puntos conocidos.

369. *Defensa contra las aguas superficiales tranquilas ó estancadas.*—(Véase parte III, § 4).

Defensa contra las aguas corrientes exteriores.

370. *División física de los cursos de agua.*—Los cursos de agua naturales pueden dividirse en tres grandes categorías:

1.ª *Torrentes* ó cursos de agua no permanente, de fondo rápido y pedregoso.

2.ª *Ríos de lecho torrencial;* cursos de agua permanentes, pero de lecho torrencial, pendiente fuerte, ocupación parcial del lecho, excepto en las crecidas, y fondo pedregoso.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

3.ª *Ríos* propiamente dichos ó corrientes de agua permanentes que desaguan en el mar ó en otros ríos.

En los ríos y demás cursos de agua se distinguen las orillas naturales de las artificiales, que consisten en muros, diques, escolleras, etc.

Todos los cursos de agua tienen *estiaje* y *crecidas*.

Se llama *estiaje absoluto* cuando el caudal del río es el más bajo: *estiaje ordinario* el nivel bajo ordinario de las aguas; *estiaje anual ó medio* la media de los estiajes observados en un cierto período de años; *aguas ordinarias* el estado normal del agua. Las altas aguas son las *crecidas ordinarias* y las *extraordinarias*. Además hay que tener presente las *inundaciones*.

371. *Escala de gastos.*—Tomando por ordenadas el gasto de un río expresado en m.³ p. 1″ y por abscisas las alturas del hidrómetro, el lugar geométrico de todos los puntos q se deduce de la

$$q = c\,(b + a)^2$$

que se llama escala de gasto y en la cual q = m.³ por 1″; a = altura del hidrómetro; b y c constantes que se determinan para cada río.

372. *Definiciones relativas á la hidráulica fluvial.—Afluente;* se llama así al curso de agua que al reunirse á otro pierde su nombre.

Confluente.—El curso de agua que conserva su nombre, aunque reciba las aguas de otros cursos.

Ríos.

(Para aforos, etc., véanse los párrafos 164 y siguientes.)

Corriente de los ríos.—La irregularidad del fondo y orillas produce la de la corriente. Las mayores profundidades corresponden á estrechamientos de sección y viceversa; así también disminuye la altura de agua donde aumenta la pendiente, y, al contrario, aquélla aumenta cuando ésta disminuye. El *ensanche*, ó mejor dicho *remanso*, que produce una disminución fuerte de pendiente se denomina por algunos *vientre*, es importante tenerlo en cuenta en los encauzamientos.

Remolinos y pozas.—Cuando la corriente del río se ve detenida ó desviada bruscamente, toma un movimiento en hélice cónica con el vértice en la parte inferior, y arrastra el aire y los cuerpos flotantes al mismo tiempo que socava el fondo.

Si el remolino se produce por un saliente brusco de la orilla ó por el encuentro con una corriente de agua, suele llamársele *revesa* (es nombre más usado en los formados en las costas). Cuando

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sólo son superficiales ó con dirección de abajo arriba, elevan el fondo en vez de socavarlo.

En un río hay que distinguir la *cuenca*, el *cauce* y la *desembocadura ó confluencia*. La velocidad mayor tiene lugar en la parte media.

La *fuerza mecánica* de una corriente aumenta con la densidad del líquido, como lo prueban las aguas fangosas: la máxima fuerza de erosión se tiene también en la parte media del curso.

Cuando los ríos desembocan en el mar, encuentran un obstáculo en el movimiento de flujo y reflujo (mareas) en las olas y en las corrientes litorales. Las fuerzas más constantes que tiene que vencer la corriente son las mareas y las olas.

Si la fuerza de la corriente es menor que la del mar, los arrastres que aquélla conduce se depositan en medio de la desembocadura formando islas, y el río da así lugar á un *delta positivo*, ó simplemente *delta* (1), y se compone de uno ó varios brazos, que se llaman *completos* si vierten en el mar, é *incompletos* cuando desaguan en otros brazos. Si la fuerza de la corriente es mayor que la del mar, los materiales no se depositan hasta el mar, y entonces es un *delta negativo ó estuario*.

Los cursos de agua, y especialmente los torrentes se consideran divididos en varias partes (fig. 305). En la 1.ª, que generalmente se llama *cuenco ó embudo de recepción*, se tienen pequeñas vaguadas de mucha pendiente que recogen el agua, conduciéndola á la parte inferior y terminando por unirse para formar un solo canal. La 2.ª parte, denominada canal de descarga (garganta en los torrentes), conduce con gran velocidad las aguas del cuenco unidas á las de los últimos afluentes, socavando y transportando materiales. En la 3.ª, que algunos llaman *canal de calma* (no existe muchas veces), las aguas forman depósitos que arrastran las crecidas. La 4.ª y última es la *desembocadura* (cono de deyección en los torrentes). En ésta tienen lugar los depósitos de arrastres ó acarreos, y, por consiguiente, la elevación continua de fondo.

Según la naturaleza del lecho, son distintas las obras que se ejecutan y el criterio que se sigue.

373. *Perfil de compensación.*

Alveos.—Los ríos y torrentes en la parte superior socavan el lecho y forman una cuenca llamada *imbrífera* ó de *recepción*, en la parte inferior acumulan los materiales arrastrado formando el *lecho* ó *cono de deyección*.

(1) En castellano se llaman también *alfaques*.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Las materias acarreadas por los ríos y torrentes son en la primera parte grandes bloque de piedra, y descendiendo se convierten en *cantos, grava, cascajo, arena* y *légamo* ó *limo*. Cuando las avenidas no hacen más que transportar los materiales deposi-

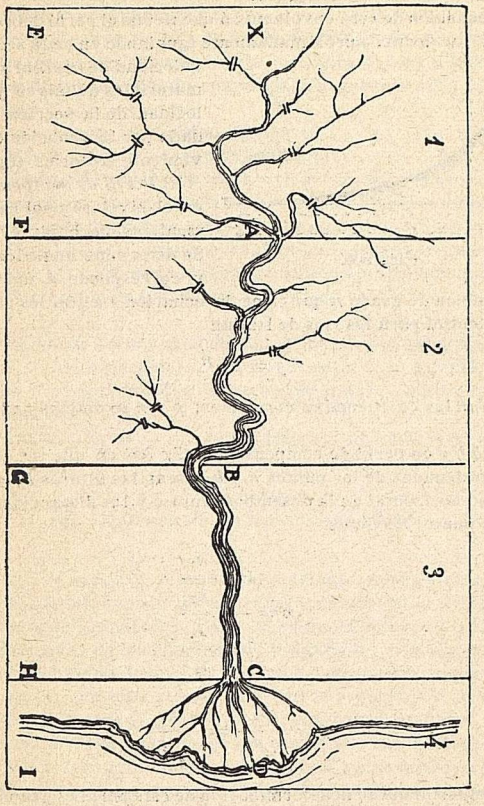


Fig. 305.

tados ó acarreos en aguas ordinarias, tiene lugar el *equilibrio estable de la corriente*, y el *río* se llama de *régimen estable* ó *cauce establecido*.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Perfil de compensación.—Se indica con este nombre la envolvente de todas las rasantes de pendiente límite, del eje de un cauce, tal que no se produzcan socavaciones ni acarreos, y esto en función del carácter torrencial del agua, de la sección transversal, de la naturaleza del cauce.

La ecuación de esta envolvente á que tiende el perfil del régimen estable, se deduce aproximadamente igualando en cada sección la velocidad de equilibrio de los materiales del álveo, y la velocidad de la sección misma dada por la ecuación del movimiento uniforme (fig. 306).

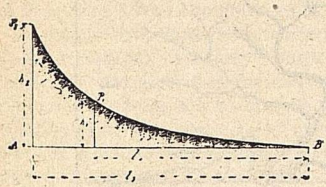


Fig. 306.

El *Perfil de compensación* es el nivel al cual racionalmente puede bajar el lecho. Se determina analíticamente y corresponde á una parábola cúbica de grado n que tiene la ecuación (según los estudios de Valentini para los ríos de Italia):

$$y = p\,x^n$$

x é y son las coordenadas corrientes; p y n se determinan como sigue:

Sea $a\ b\ o$ un perfil de compensación (fig 306) en que se conocen las coordenadas de los puntos a y b, ó sean las alturas $h_1\ h_2$ sobre el plano horizontal de la desembocadura o y las distancias $l_1\ l_2$ al mismo punto. Se tiene:

$$n = \frac{\log \dfrac{h_1}{h_2}}{\log \dfrac{L}{l_2}}$$

y

$$p = \frac{h_2}{l_1^n} = \frac{h_2}{l_2^n}$$

La importancia de la determinación de este perfil es grandísima, porque designa dónde es preciso intervenir para suprimir las irregularidades producidas por la mayor ó menor resistencia del fondo.

En los ríos torrenciales es oportuno recurrir á estructuras móviles, y que se prestan á secundar todas las variaciones que pue-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de sufrir el fondo antes de quedar establecido. Son aplicables, por consiguiente, las faginadas, cestonadas, escolleras, etc.

374. *Obras de defensa.*—Los daños que principalmente causan las corrientes de agua son las inundaciones, las socavaciones y los acarreos y sedimentaciones.

Las obras de defensa han de procurar evitar las causas fundamentales, como son la inconstancia del régimen, procurando acercar el perfil del cauce al de compensación, y hacer más perenne el régimen.

Debe procederse en el orden siguiente:

A). Corrección de los tramos superiores.

a). *Cuenca de recepción* para evitar los movimientos en la zona montañosa, el transporte de las materias sólidas aguas abajo, y reducir la diferencia entre las altas aguas y el estiaje.

b). *Canal de descarga* encauzando las fuerzas naturales, oponiéndose á ellos y fijando las márgenes con obras oportunas.

B). Corrección de los tramos inferiores.

a). *Canal de calma* para disminuir en lo posible los aterramientos y elevaciones del cauce, interviendo en la defensa directa de los terrenos inmediatos, mediante diques longitudinales y transversales.

b). *Corrección de la desembocadura* regulando la formación del delta.

A). *Defensa de los tramos superiores.*

375. a).—*Cuenco de reunión.*—La defensa consiste en retener las aguas, disminuyendo la velocidad y aumentar la resistencia del fondo y de las paredes. Para lo primero son muy útiles las obras indicadas en los números 357 y siguientes, regulando y distribuyendo, racionalmente, el descenso, con zanjas, drenes, etc.

Combinado con esto, resulta muy útil la repoblación forestal y y el establecimento de prados en las regiones montañosas.

Para evitar los arrastres en los torrentes, son preferidas las plantas de raíces profundas y fuertes. Las zonas donde es posible la plantación se fijan con faginas ó palizadas transversales sembrando en los intervalos plantas leñosas y herbáceas de fácil vegetación.

376. *Presas.*—Producen los efectos de disminuir la pendiente longitudinal y como consecuencia, la velocidad de la corriente y

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

su fuerza de socavación, sustituyendo el perfil natural por una serie de saltos. Técnica y económicamente deben elegirse los sitios en que el terreno ofrece un estrechamiento, corto, con un ensanche grande aguas arriba, habiendo aguas abajo un tramo de pendiente limitada. Para gastos pequeños bastan presas provisionales ó rudimentarias hasta que la vegetación se haya desarrollado. Se emplean también las palizadas ó pilotajes, faginas, estacas de zarzas rellenas de piedra, etc.

Son muy útiles los faginados ó cajones metálicos, hechos con tela metálica, rellenos de piedra.

Pueden construirse también con tierra ó madera, ó de fábrica, en seco ó con mortero. Para darles mayor resistencia, deben tener planta curva, convexa hacia aguas arriba. La coronación no se hace horizontal sino ligeramente cóncava en el centro (cubeta de desagüe ó vertedero), para hacer mayor el tiro en el centro y defender los estribos.

El pie del dique se defiende del choque del agua y de los materiales que arrastra.

En la parte baja y media de la presa se disponen mechinales para dar paso á las aguas subterráneas.

377. *Traviesas.*—Cuando el arrastre de materiales es pequeño se hacen las presas más altas que el nivel del agua; ésta sale lateralmente por vertederos practicados, ó por pozos á tubos verticales de defensa. Cuando los sedimentos van elevando el fondo del cauce aguas arriba, se elevan la coronación de la presa y las bocas de los canales vertederos ó de los pozos de evacuación.

378. *Aplicaciones.—Diques.*—Una aplicación de buen resultado es la que representa la figura 307: se debe á Lerrazanetti; consiste en practicar en el cuerpo de la presa pozos verticales, terminados inferiormente en tubos horizontales que vierten aguas abajo; de este modo se reduce el volumen de agua que vierte por la coronación y se defiende mejor el pie de la presa.

378 bis. *Corrección de terrenos y torrentes en España.*—Merecen especial mención los trabajos de esta clase realizados con éxito extraordinario por distinguidos ingenieros españoles. Entre otros muchos figuran los de la cuenca del Segura y Júcar, del Lozoya, cuenca inferior del Ebro y Pirineos Orientales, etc. Los resultados han sido tan satisfactorios como se esperaba, según se ve en la corrección del torrente Arratiecho y otros muchos.

Estos trabajos, hechos en combinación con la repoblación forestal, los *enhierbamientos, encespedamientos y enmalezamientos*,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

han consolidado ya importantes extensiones de terreno y evitado muchos daños y perjuicios al quitar el carácter torrencial á muchas vaguadas y torrentes.

379. b).—*Canal de desagüe.*—La corrección del cuenco de reunión con repoblaciones forestales, zanjas, drenes, presas, etc., constituye la mejor defensa inicial del canal de desagüe, regulando el gasto y aminorando el transporte de materiales propios para obtener el perfil de compensación ó equilibrio.

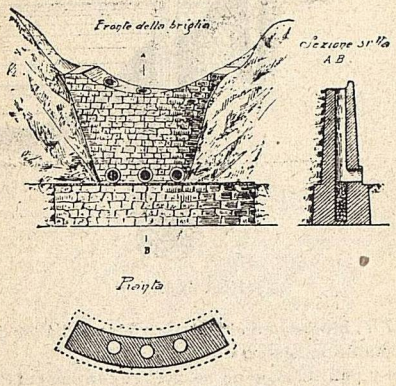


Fig. 307.

380. *Defensas directas.*—Las obras generales son: *repoblación de bosques en las márgenes, palizadas, faginas, cestos* ó *gaviones, diques* y *escolleras.*

La *repoblación de bosques*, hecha con plantas ó árboles que se desarrollen pronto, como el sauce, acacia, chopo, etc.. constituyen una buena defensa, pues las raíces contienen las tierras y evitan las socavaciones.

Las *palizadas* se hacen con pilotes clavados verticalmente á la distancia de algunos metros. Después se encepan con tablas ó viguetas, asegurando las uniones con clavos y pernos y poniendo á un lado una capa de escollera. Para alturas de un metro se colocan á la distancia de 2 metros, y de $2 \div 3$ metros cuando la altura es de $1 \div 1{,}50$ metros. Cuando es mucho mayor se colocan dos ó tres filas de pilotes, encepándolos horizontalmente y con arriostrados inclinados.

La figura 308 representa uno de los sistemas de palizadas más usuales. El indicado en la figura 309 recibe más propiamente el

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

nombre de *tablestacado*. Está formado por un pilote *P Q*, hincado oblicuamente en el suelo y sosteniendo la margen *A S*. En el lecho *A A* se hinca otro pilote y se clava en *O* al primero. Por último, la

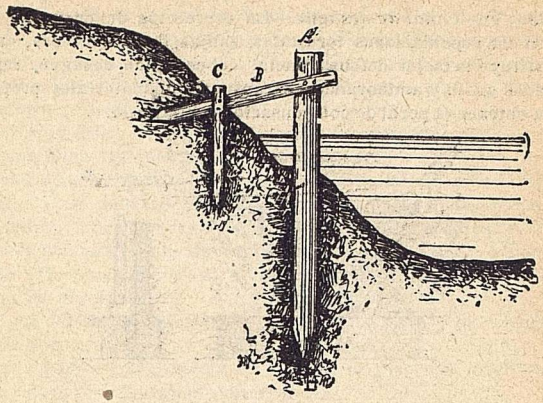


Fig. 308.

tornapunta *T T*, hincada en el ángulo y clavada á los dos pilotes, hace indeformable del sistema.

Los pilotes y palizadas, si no se construyen con cuidado, tienen

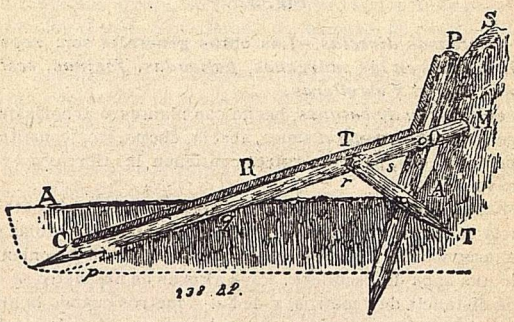


Fig. 309.

el inconveniente de producir remolinos en la corriente, que pueden socavar el terreno y destruir la defensa misma.

Entre las palizadas se deben citar los *diques*, que se reducen á

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

palizadas (construídas transversalmente á los cursos de agua) de varias filas de pilotes, tanto más próximos cuanto más pendiente sea el terreno. Delante de cada fila se hacen plantaciones, y así se conservan los materiales más gruesos. Estas construcciones se consideran por algunos como depósitos que se disponen escalonados. Se hacen insumergibles dejando en el fondo los espacios necesarios para el paso del agua, pero no de los acarreos gruesos (figura 310).

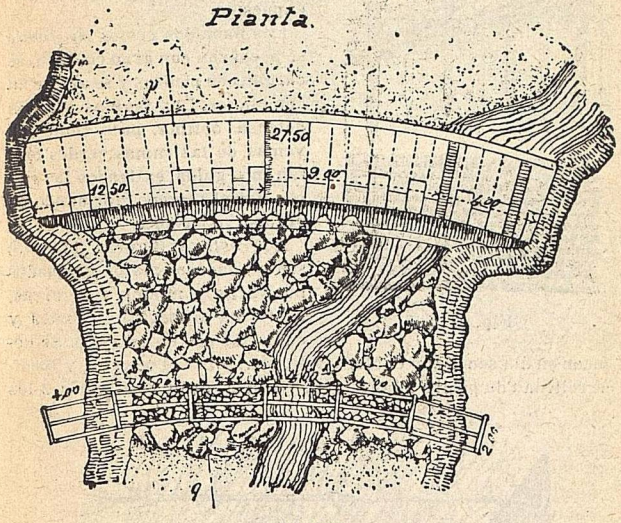


Fig. 310.

Cuando las orillas ó el fondo están constituídos por terrenos flojos y fácilmente socavables, se defienden con faginados.

Estos enfaginados, que reciben, en general, el nombre de revestimientos ó *acolchados,* se hacen de diversos modos. Unas veces se hacen largas faginas, enlazadas y sujetas á estacas ó pilotes, como se representa en la figura 311.

Otras veces, en vez de faginas, se usan ramas flexibles, que se sujetan al suelo con *arpones P,* de madera, como se indica en la figura 312; las ramas están tendidas sobre el terreno y se sujetan con varas horizontales *S*, que, á su vez, están afirmadas con arpones *P*.

En otras ocasiones, para dar mayor consistencia ú ocupar ma-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

yor espacio, se mezclan las faginas con grandes piedras ó bloques de hormigón superspuestos en capas, como se ve en la figura 313.

Por último, en vez de faginas se emplean esteras, parrillas, redes de mimbre ú otros, así como troncos de árboles, que entonces suelen llamarse *penachos* ó *pantallas*, pero su disposición es siempre la general de los casos expuestos.

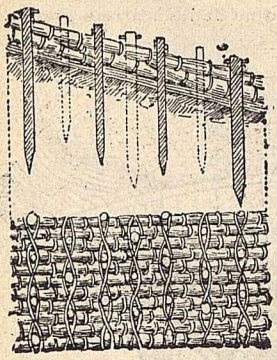


Fig. 311.

Los llamados *cestos de fondo* se preparan con gran cuidado, se cargan con piedras y se aseguran con pilotes. Las faginas son una defensa óptima, pues como las yemas de las ramas verdes brotan en seguida, extienden las raíces por el terreno, formando un verdadero bosque.

Los *cestones* (figuras 314 y 315) son verdaderos cestos formados por varas y mimbres ó zarzas, de forma cilíndrica ó cónica y cubiertos por un extremo. Se colocan en fila sencilla ó doble, triple, etc., sobre el terreno, y luego se rellenan de piedra ú hormigón. Oponen gran resistencia á los

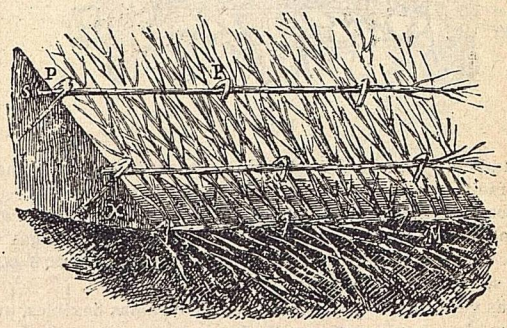


Fig. 312.

choques, pues obran como escollera: cuando la corriente produce socavaciones en la parte inferior, descienden por su propio peso y defienden la parte atacada (fig. 316). Estos cestones se constru-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

yen aparte, disponiendo las zarzas como se ve en la figura 314. El relleno se hace después de colocarlas en obra.

Los llamados *cestos de fondo*, hechos con *salchichones* que se sumergen con la carga de piedra, se pueden rodar generalmen-

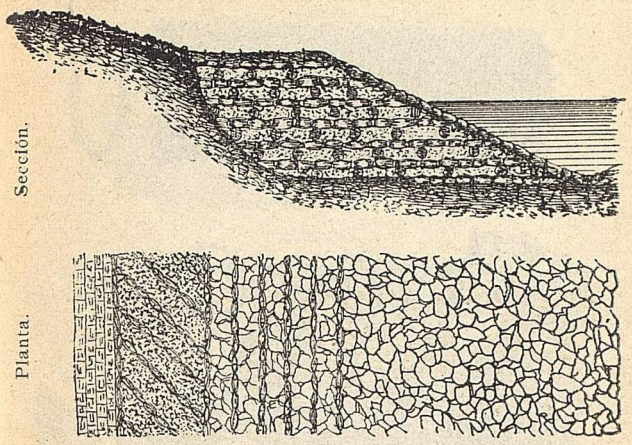


Fig. 313.

te con provecho y mejor defensa del fondo hasta éste, y entonces la disposición de los materiales es la de la figura 317. En algunos sitios dan diversos nombres á los cestones, atendiendo á la forma y dimensiones. Los hay pequeños; otros de 4 á 7 metros de longitud por 1 ÷ 2 de diámetro; algunas veces tienen forma tronco cónica y se emplean especialmente para defender las márgenes casi verticales. se construyen en el lugar de empleo y en la posición en que han de quedar (figura 318), fijando los piquetes en el cauce si es necesario.

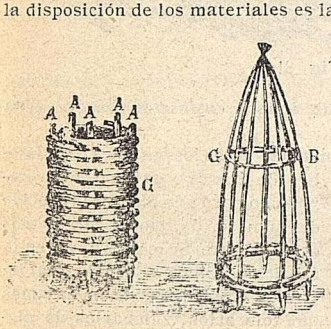


Fig. 314.

Los *cestones* tienen, generalmente, igual diámetro que altura, y se colocan en obra obligándolos con una palizada, como se ve en

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la figura 319, en que *P, P, P* son los pilotes. Los cestones cónicos se disponen con el vértice hacia la corriente (fig. 320). Otras veces se aseguran con diques pequeños, pilotillos ó alambres de hierro y también se suelen enterrar parcialmente.

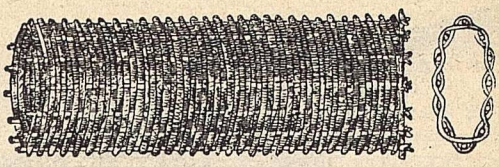


Fig. 315.

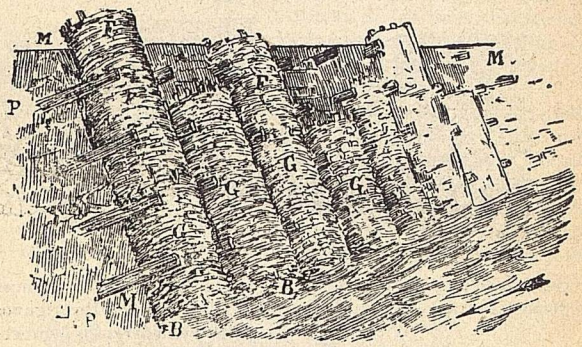


Fig. 316.

Es un sistema de defensa que, aunque costoso de conservar, da excelentes resultados.

Actualmente se construyen muchas veces los cestones con alambre de hierro galvanizado, empleando para ello alambre recocido del núm. 18, de unos 4 milímetros de diámetro. Se construyen en la fábrica ó taller y se conducen al lugar de empleo, donde no hay más que colocarlos y llenarlos de piedra; funcionan como una verdadera escollera.

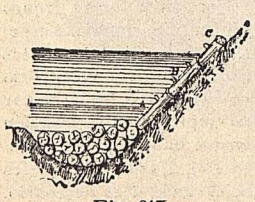


Fig. 317.

Los *muros de defensa* no necesitan definición, pues su mismo nombre indica el objeto á que se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

destinan. El cálculo de su espesor se hace calculando el máximo esfuerzo del choque de la corriente y el momento de rotación, de modo que estén equilibrados por el peso del muro mismo, y, si es preciso, del terraplén que sostienen.

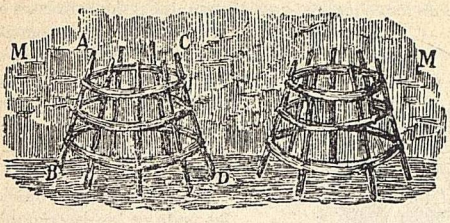


Fig. 318.

Cuando se puede abrir la zanja de cimientos á la altura del estiaje ordinario, con un talud bastante tendido, el muro tiene el perfil de la figura 321, que es un caso característico de revesti-

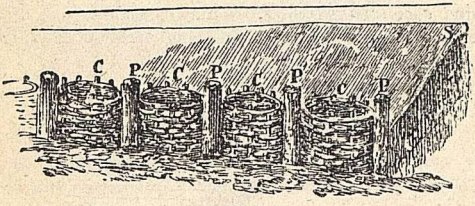


Fig. 319.

miento. El espesor del muro puede ser constante ó variable, y á veces se reduce á una especie de empedrado ó encachado hecho

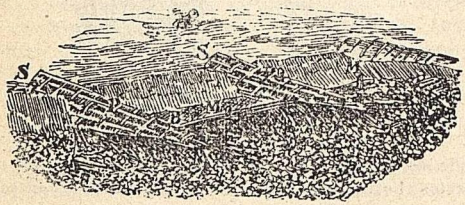


Fig. 320.

sobre la margen, sostenido por una palizada de cimiento que sostiene la base (fig. 322).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La dificultad mayor estriba en determinar la profundidad de los cimientos, y esto debe hacerse conociendo la profundidad de las mayores socavaciones ó determinando de otro modo la línea de máxima socavación.

Como de todos modos hay alguna incertidumbre en el éxito de la defensa, conviene construir una segunda defensa, bien para desviar la corriente ó ya para que sean imposibles las socavaciones. Para este objeto sirven las escolleras.

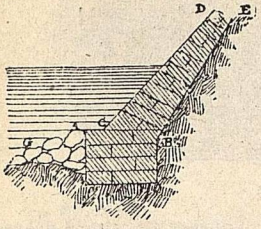


Fig. 321.

Las *escolleras*, como indica el nombre, imitan la acción de un escollo, y tienen por objeto romper las ondas ó las corrientes, anulando así gran parte de su fuerza destructora. Generalmente se forman con grandes bloques de piedra, echados á granel, de manera que ofrezcan una superficie irregular con salientes, huecos, etc., y se denomina *escollera perdida*. Cuando es necesario se refuerza la escollera con algunos pilotes, como en el ejemplo de la figura 323.

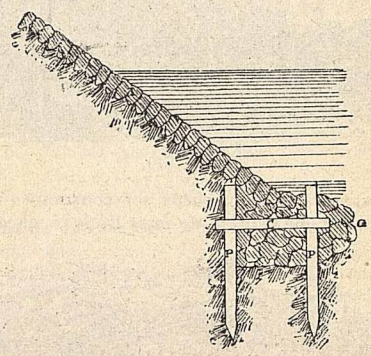


Fig. 322.

Cuando los bloques son lo bastante grandes para que no pueda removerlos el agua, no hay necesidad de enlazarlos entre sí; pero si, ó son pequeños, ó la fuerza del agua en aquel punto es difícil de determinar y muy grande, entonces los bloques se sujetan entre sí y al terreno con grandes cables.

La *escollera anclada* ó *enlazada* es aquella en que los bloques

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

están sujetos por cables metálicos, etc.; ciertamente tienen muchas ventajas sobre las de *piedra perdida*. En éstas no se utiliza la mayor parte del material y hay que emplear gran cantidad; además, la corriente arrastra fácilmente los bloques y resulta una conservación muy cara. En la escollera anclada, por el contrario, el material se utiliza por completo con toda eficacia, y, como no lo puede arrastrar la corriente, resulta una conservación más económica. El autor ha estudiado varios tipos especiales que se han aplicado en Italia.

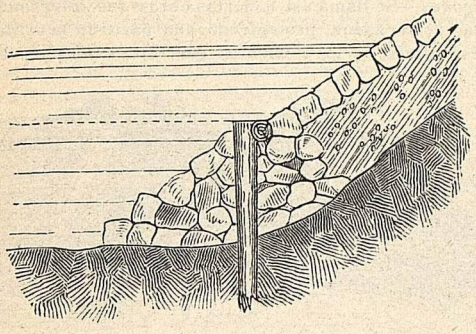


Fig. 323.

La facilidad con que hoy se construyen las cadenas y cables metálicos muy resistentes y flexibles, permite aplicarlos con gran éxito á las escolleras.

Los bloques de piedra pueden ser naturales ó artificiales. Generalmente se hacen con hormigón hidráulico, y entonces se les pueden perforar en uno ó varios sentidos. Por estos huecos pasan los cables y se forman rosarios de bloques, que se enlazan entre sí. Si se emplean bloques naturales y la perforación es muy costosa y difícil, aún cabe hacer cajas ó rozas para sujetar anillas, emplomándolas.

Cuando se dispone de tobas volcánicas conviene perforarlas, por ser un material muy blando cuando se arranca de la cantera; pero se endurece en contacto del aire y el agua.

Otro sistema es el de construir la escollera ordinaria á piedra perdida y cubrirla con una red de cables metálicos, bien sujeta al fondo y orillas.

381. *Defensas indirectas.*

Rectificaciones de cauces.—Las rectificaciones en los ríos y to-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

rrentes deben proscribirse siempre, pudiendo admitirse en casos raros cuando haya necesidad de rebajar el fondo del río aguas arriba.

En estas circunstancias debe practicarse un estudio muy detenido de todo lo que pueda conseguirse para rebajar el lecho en un punto, elevarlo en otro, cambiar la dirección y la velocidad de la corriente.

Cuando por la altura del agua el río puede ser navegable, conviene tenerlo muy en cuenta al establecer las obras.

Espigones.—Se llama así á ciertas obras que, internándose en el agua, la rechazan, protegiendo una parte de la orilla de los choques. Es uno de los elementos más útiles y más peligrosos (figura 324).

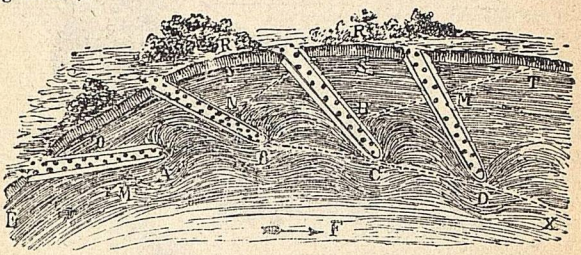


Fig. 324.

El máximo efecto de los espigones se produce cuando son normales á las márgenes.

El espigón normal que encuentra casi directamente á la corriente, da siempre excelentes resultados y se consigue la inmediata formación del aluvión en la parte protegida. Cuando dos espigones están mal dispuestos ocasionan la destrucción del aluvión y de la margen opuesta, sin ser útiles á la que protegen y dando siempre lugar á grandes trastornos.

Los espigones pueden construirse aislados ó reunidos, en número cualquiera, formando un sistema. Cuando se construye un sistema de espigones para defender una orilla, deben disponerse (fig. 324), de manera que el primero de aguas arriba *A* tenga la mayor inclinación respecto á la corriente, que es guiada hacia el segundo espigón *B*, el cual debe estar menos inclinado respecto á la corriente que el primero, y así sucesivamente hasta el último, que ha de estar normal (en lo posible) á la dirección de la corriente que viene del penúltimo espigón.

Dispuestos así los espigones, los morros ó cabezas deben des-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cribir una parábola de modo que la dirección de la última parte de la curva guíe la corriente á lo largo del eje del río y nunca sobre la margen opuesta.

Cuando los espigones estén aislados, es decir, que sólo se construya uno en un gran tramo del río, se establecen siempre ortogonales.

Nunca deben construirse espigones sobre el cono de deyección de los torrentes, porque en este caso lo que hacen es favorecer el depósito de los arrastres, y el lecho se eleva y deforma resultando perjuicios imprevistos.

Espigones sumergibles.—Los espigones deben, en general, ser insumergibles, esto es, que su altura sea mayor que el nivel de las máximas crecidas. En estos últimos años se han estudiado y construído en Alemania espigones sumergibles, que dieron inmejorables resultados. Los ingenieros franceses que en 1873 estudiaban el encauzamiento del Ródano, después de examinar las construcciones germánicas, propusieron para dicho río varios sistemas de espigones sumergibles y algunas series de presas sumergidas, con objeto de elevar en determinados puntos el fondo del río. Los espigones sumergibles más eficaces son muy anchos, y el plano ó superficie de coronación se hace inclinado hacia la corriente de modo que el agua pueda cubrirlos ejerciendo un cierto esfuerzo y perdiendo velocidad.

B).—*Defensa de los tramos inferiores.*

332. *Diques* (fig. 325).

Obras de defensa.—Las obras de defensa en los ríos, además de las ya indicadas antes, que se aplican á otros cursos de agua, son: la *consolidación de las márgenes,* los *diques* ó *malecones*

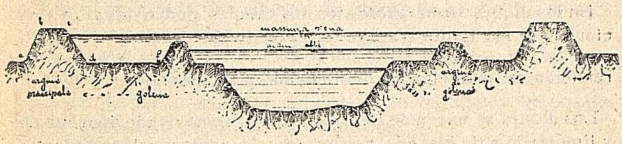


Fig. 325.

y los *espigones.* En el tramo inferior de los ríos, las aguas de las crecidas se encauzan con obras longitudinales de tierra, denominadas *diques.* Para establecer los diques se empieza por fijar el ancho de la sección en las crecidas por medio de las fórmulas dadas para el cálculo del gasto.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los diques pueden ocupar ó no el cauce de las máximas avenidas. Se llaman *sumergibles* los que quedan cubiertos por las aguas en las crecidas; *insumergibles,* los que, al contrario, emergen siempre y encauzan las crecidas.

Los diques pueden presentar *retallos* ó *escalones,* y en la coronación tener pretiles y espaldones. *Diques laterales* se llama á los que están paralelos á los principales; *ortogonales,* cuando es tal su posición. Dique *circundante,* el que limita un bajo fondo; *dique-presa,* el que atraviesa un curso de agua, cortando la comunicación entre dos tramos del mismo. También se llaman secundarios y *terciarios* los de estos órdenes paralelos al principal.

La altura debe exceder en 0,50 ÷ 1 metro al nivel de las máximas crecidas. Este exceso se suele denominar *franco.*

Al proyectar los diques hay que tener en cuenta el asiento de las tierras del terraplén, que es cerca de $\frac{1}{6}$, así que la altura será:

$$h = \frac{7}{6}(a + f);$$

en que a = altura de la crecida y f la altura libre ó *franca.*

El ancho en la coronación, salvo en casos especiales, aconsejan muchos no baje de 2 metros para un ancho del río de 40 metros, y para anchos mayores aumentan por cada metro 0,04 metros al ancho. El talud interior en los diques *insumergibles* se recomienda sea:

de 2	de base	por 1	de altura	para	terrenos compactos.
de 3	»	» 1	»	»	con arena.
de 4	»	» 1	»	»	sueltos.
de 1,50	»	» 1	»	para el talud exterior.	

En los diques *sumergibles* los dos taludes tienen igual inclinación. Para los diques transversales ó en vertedero basta en la coronación un ancho menor del indicado y taludes de $\frac{1,50}{1}$.

Los diques se hacen de tierra arcillosa, removiendo bien la base y limpiándola de hierbas, raíces, etc.; la construcción se efectúa por tongadas inclinadas. Para reunir la tierra necesaria se practican zanjas de préstamos lejos del dique y sin comunicación entre ellas, ó bien se traen del campo, pero siempre á distancia del dique.

Cuando el dique ha de apoyarse en un terreno arenoso, se practica una zanja, que se llena de buena tierra, apisonándola.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En la actualidad algunos hidráulicos no recomiendan los diques longitudinales, pues parece tienen el inconveniente de producir elevaciones en el fondo. Según otros, parece que el fondo se rebaja en la parte superior y se eleva en la inferior del tramo encauzado; el punto de paso se halla próximamente á $\frac{1}{3}$ de la longitud, á partir de la parte superior. De todos modos, lo mejor es un sistema mixto de diques longitudinales para las orillas cóncavas, y ortogonales para las convexas.

Cerca de la desembocadura en el mar debe aumentarse el ancho de la sección, por el efecto que producen las mareas.

393. *Corrección de las confluencias y desembocaduras.*—En la confluencia de los torrentes con los ríos hay que hacer un estudio detenido y cuidadoso.

Es importantísimo observar si la dirección de la confluencia del torrente en el *recipiente* es hacia aguas arriba ó aguas abajo; porque si es en esta última dirección, el cauce del recipiente aguas arriba de la confluencia se profundiza si la pendiente aguas abajo es mayor que aguas arriba; no se altera si es igual, y si es menor, se eleva.

Una desviación en la confluencia de los torrentes equivale siempre á un alargamiento del curso y se ocasiona una elevación del fondo.

Para los afluentes con aguas claras es útil siempre encaminar la dirección hacia aguas abajo y llegar á formar un ángulo bastante agudo; en los de aguas turbias, el ángulo debe de ser lo más abierto posible y defender siempre la margen opuesta, siendo de resultados óptimos el procurar que el fondo del afluente se conserve lo más elevado posible.

Si la confluencia es un río encauzado, es necesario encauzar el afluente cerca de la desembocadura, para que el cambio de nivel se efectúe en una cierta longitud.

En los puntos donde frente á la desembocadura de los afluentes haya elevaciones del fondo por extenderse el cono de deyección, conviene encauzar el curso afluente en lo posible con presas, diques, cámaras de depósito ú otros medios.

Estas observaciones son aplicables también á los ríos torrenciales.

394. *Crecidas é inundaciones.*

Crecidas.—El agua de las crecidas es la que más socava y modifica el cauce, de modo que se adapte al gasto en la crecida y á la pendiente de los diversos tramos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Nivel del agua en la crecida.—El nivel del agua en la crecida describe desde el origen al mar una parábola, cuyo radio de curvatura aumenta cuanto más se aproxima á la desembocadura; es decir, que la pendiente es mayor hacia el origen y menor en la desembocadura, donde el nivel del agua puede sufrir un descenso grande por el tiro del desagüe ó producirse un remanso á causa de las mareas ó de los temporales.

Gasto y fases de las crecidas. - Pueden considerarse tres fases en las crecidas: *crecida ascendente, régimen estable de la crecida* (ó colmo ó llena) y *crecida descendente.*

En el régimen normal, la mayor velocidad existe próxima al origen, siendo menor en la desembocadura por la mayor amplitud de la sección.

En las crecidas, al contrario, la mayor velocidad del tramo superior arrastra rápidamente la crecida á los tramos inferiores, que, para poderlo evacuar, necesitan gran sección, y, por tanto, que se llene la cuenca. Luego en la crecida ascendente el gasto en el tramo superior es mayor que en los inferiores. En el régimen estable de crecida ó estoa, el tramo inferior alcanza el mayor gasto y lo conserva aún durante la crecida descendente hasta que haya descargado toda el agua que recibe y la acumulada en la cuenca; esta duración en la *llena* se llama *estoa.*

Inundaciones. - Cuando en la sección del río en los tramos inferiores no puede adquirir la velocidad necesaria para evacuar toda el agua que recibe, tienen lugar las inundaciones ó desbordamientos. Si las aguas desbordadas corren sobre los terrenos laterales con mayor velocidad que el río mismo, el tramo inferior sufre mayor daño; en caso contrario, mejoran sus condiciones.

El primer caso es muy difícil ocurra, porque la gran extensión que ocupa el agua desbordada, y, por consiguiente, la poca altura que pueda alcanzar no permite adquiera gran velocidad.

Las *socavaciones del lecho* durante las crecidas es cosa inevitable y hay que tenerlo presente al proyectar las obras transversales, para dejar paso libre al légamo y arenas que arrastran las crecidas.

El cálculo del gasto en las crecidas está sujeto á grandes anomalías, porque la pendiente i del nivel del agua en el estiaje ó en el fondo no es la misma que la de i_1 de las crecidas. Para que el error sea menor, se debe tomar para pendiente en las crecidas la $i_2 = \sqrt{i.i_1}$. El gasto en una sección dada es *variable* ó *local,* y el de un tramo se llama *constante* ó *normal.* El único medio de evitar las anomalías en tales cálculos es hacer numerosas y repetidas observaciones y corregirlas con la teoría de los mínimos cuadrados.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

385. *Remanso debido á las crecidas.*—(Véase § 131, 2.º)

El *remanso debido á la desembocadura de un afluente con crecida* se expresa por la

$$H + h = \frac{i}{i_1}\left(\frac{Q+q}{Q}\right)^{\frac{2}{3}} H \qquad \text{(Tadini);}$$

en que H = altura primitiva del agua; h = aumento de altura, ó sea el remanso; i é i_1 las pendientes del nivel antes y después de la admisión; Q y $Q+q$ los gastos respectivos antes y después de la confluencia.

Amplitud del remanso que se manifiesta en el río afluente:

$$a = \frac{H+h}{i-i_1}.$$

h = altura del remanso á la distancia n.

H = altura que toma el río afluente en la desembocadura, debida á la crecida del recipiente.

i = pendiente del afluente.

i_1 = pendiente del nivel del agua remansada.

$$i_1 = i\left(\frac{K}{K_1}\right)^3\left(1 + \frac{\frac{K_1}{K} - 1}{1 + 15 + v}\right)$$

en que

$$K_1 = K + \frac{H-h}{2}$$

$$K = \frac{\alpha\, v + \beta\, v^2}{i}$$

(Para α y β, véase § 87.)

Las consecuencias del desagüe de los afluentes pueden ser graves por el modo con que se produzca el remanso. Si el nivel del afluente es el del recipiente, se unen en la sección de la confluencia y no hay alteración importante.

Si el nivel del recipiente encuentra al del afluente en un punto superior al de la confluencia, habrá retardo ó remanso en el afluente.

Si el nivel del recipiente encuentra al afluente más bajo que la confluencia, habrá depresión y aceleración en el recipiente.

El *entumecimiento* ó *vientre* es el remanso dado en el § 131, 1.º,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que es preciso tener en cuenta en las crecidas para la construcción y defensa de los diques y establecimiento de obras transversales.

El viento, cuando es huracanado ó sumamente fuerte, influye en la velocidad de los ríos en las crecidas, pudiendo ocasionar remansos é inundaciones.

386. *Medios para atenuar los efectos de las crecidas.*—Los medios indicados hasta ahora para atenuar el efecto de las crecidas, son:

A) La *repoblación de montes y bosques* en las regiones montañosas de la cuenca y la construcción de estanques ó zanjas horizontales.

B) Construcción de *grandes pantanos* ó *embalses*, con los que se puede regular la salida del agua.

C) El *embalse* en los lagos existentes para regular la salida del agua.

D) Construcción de *canales de derivación* que tomen el agua directamente del río que sea capaz de contenerla, á otro río ó al mar.

E) Los *encauzamientos* y *rectificaciones* para aumentar la velocidad y disminuir la altura del agua.

F) La construcción de diques.

G) Los ensanches ó estrechamientos de sección tales que den siempre al río la sección necesaria.

387. *Roturas de dique y su reparación.*—El lecho de un río encauzado puede estar más alto ó más bajo que los terrenos de las márgenes.

Las *roturas*, como su nombre indica, consisten en una abertura que el agua, por sí misma, produce en los diques. Las consecuencias de estas roturas, siempre violentas, son de efectos terribles.

Las roturas pueden producirse de tres maneras:

1.ª Por *rebasar* el agua la coronación del dique y producir socavaciones que poco á poco derrumban el dique.

2.ª Por *dislocación*, cuando las aguas socavan el dique en parte y lo arrastran ó vuelcan, inundando los campos.

3.ª Por *sifón*, cuando el agua encuentra un camino pequeño á través del dique, debido á la naturaleza de los materiales, á ciertos animales ó á plantas descompuestas. Este camino se ensancha hasta el extremo de producir la rotura del dique.

Remedios inmediatos.—Si el agua rebosa sobre la coronación pocos centímetros, se puede remediar abriendo un surco con el arado; la tierra removida basta para evitar se vierta el agua. Si el nivel del agua se eleva, hay que hacer malecones de tierra

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tomando ésta del campo, ó también emplear sacos de tierra.

Cuando se observa que el río amenaza socavar la base del dique ó todo éste, es decir, que amenaza una rotura por dislocación, es preciso reforzar el dique ó construir otro que refuerce al primero, de modo que impida la rotura completa. Por último, si se presume la existencia de un *sifón*, debe cerrarse por cualquier medio. Si no se puede, se construye otro dique que forme un vaso comunicante con el río (fig. 326). En el momento que el agua alcanza el nivel de la crecida, se establece el equilibrio y no hay corriente por el sifón. Para tapar los sifones se usan ahora mucho unas faginadas hechas con paja y creta. Filoppanti aconseja poner en el interior telas de cáñamo.

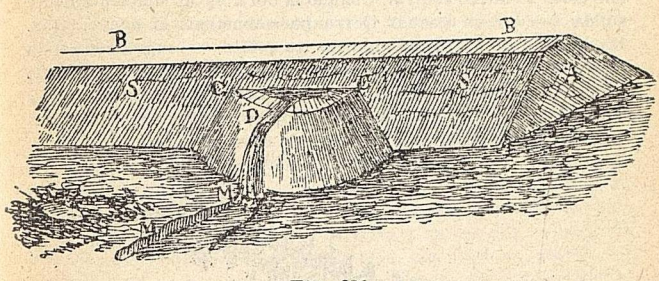


Fig. 326.

Los efectos hadráulicos de las roturas son:

1.° Disminuir la crecida en la parte superior.

2.° Retardar la corriente de agua en los tramos inferiores.

3.° Depósito de acarreos de los afluentes (turbios) aguas abajo de la rotura y socavaciones aguas arriba.

4.° Desagüe de los afluentes por la rotura, si están próximos.

5.° Movimiento del agua del curso inferior en sentido contrario, si el dique está en terraplén.

6.° Formación de gargantas ó estrechos aguas abajo de la rotura y más ó menos próximos al dique.

7.° Si la rotura se ha efectuado en varios tiempos, formación de varias gargantas.

383. *Reparación de las roturas.*—Las de los diques de tierra son las más fáciles. Cuando no son muy largas, basta un buen pilotaje para reconstruir el dique aún durante la crecida. Si el cauce está en *terraplén*, se tropieza con grandes dificultades y muchas veces hay que esperar el descenso de la crecida.

Procedimientos generales.—A) En cuanto ocurre una rotura,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

hay que asegurar las cabezas del dique con pilotes, faginados, escolleras ú otro medio, para que no aumente la rotura.

B) Deben hacerse sondeos para conocer las socavaciones y dónde se han producido gargantas, para deducir si conviene cerrarlas con diques ó volverlas.

C) El método de Guglielmini consiste en establecer filas de pilotes en sustitución del dique. El número de filas será dos, tres ó más, según la importancia de la rotura y la altura del dique. El espacio entre los pilotes se rellena con faginas, cestos, sacos de tierra, escollera ú hormigón, de modo que resista á la corriente ó forme la base del nuevo dique.

Las obras se empiezan por los extremos; pero á menudo es difícil cerrar el hueco central. Cuando la obra es lo suficientemente sólida, se empieza á echar tierra para construir el nuevo dique. Un ejemplo de la disposición de los pilotes se representa en la figura 327, en la que se ve que los postes *U* y *N* de la rotura son accesibles en barcas, aun cuando la corriente tuviese una velocidad considerable. En el caso en que no se puedan anclar las barcas, hay que esperar al descenso de la crecida.

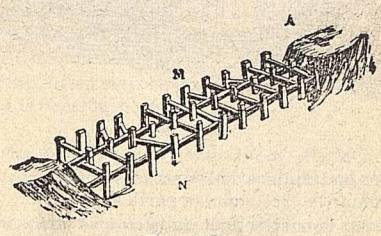


Fig. 327.

D). *Método de las telas.*—Lo ideó Filoppanti, y consiste en hacer un pilotaje como en el método Guglielmini, y después colocar lienzos delante de los pilotes, para impedir el paso del agua y reconstruir el dique. Para lanzar el lienzo hay que construir un puente sobre pilotajes ó sobre barcas; se toma la tela doble, fijada por un borde á los pilotes, y se llena de piedra; después se va soltando lentamente el otro borde en toda la longitud; la piedra hace que se adhiera la tela al fondo y el agua no puede pasar. En la práctica no es fácil aplicarlo en las grandes roturas; pero puede convenir muy bien en las corrientes secundarias.

E) *Método de los cables metálicos.*—Los cables metálicos, especialmente los de acero, están dotados de resistencia grandísima, y hoy se fabrican en Alemania con tal perfección, que supera

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

á todas las exigencias. La resistencia grande de estos cables puede utilizarse ventajosamente en la reparación de las roturas de diques; se economiza todo el pilotaje, que cuesta muchísimo, y que á veces hay que ejecutarlo en circunstancias muy difíciles. Se tienden varios cables á través de la rotura, asegurándolos bien por los extremos. La resistencia de los cables debe calcularse teniendo en cuenta el empuje del agua y el peso que ha de actuar sobre cada uno. La tensión de un cable es máxima en el apoyo y se deduce con mucha aproximación de la

$$T = \frac{p\, d^2}{3\, f};$$

en que T es la tensión buscada; p el el peso aplicado al cable, comprendiendo el peso propio y el empuje hidrodinámico; d la distancia entre los puntos de suspensión, y f la flecha de la curva descrita por el cable. En estos trabajos los cables de acero pueden someterse á un esfuerzo de 30 kilogramos por milímetro cuadrado de sección. Tendidos los cables, se cuelgan de ellos pequeños alambres ó cables de hierro que llevan el mayor número posible de prismas pequeños de hormigón, sacos de piedra y arena, etcétera. Construída la primera malla ó red á través de la rotura, pueden hacerse otras si es necesario, y en seguida se empieza á echar materiales delante de los cables, con faginas, cestos, sacos, etc., que, como es natural, van á apoyarse contra los cables; por último, se echa la tierra. Cortada así la corriente, se empieza la reconstrucción del dique, que ya se efectúa por los métodos ordinarios.

Para que este sistema sea conveniente, es necesario que los cables sean fáciles de manejar y que no tengan un diámetro mayor de 45 milímetros. Con esto se consigue que la flecha de la curva no sea nunca inferior á 2 metros, y la tensión superior á 150.000 kilogramos. En estas condiciones, la longitud de la rotura no ha de ser mayor de 60 á 65 metros. Puede seguirse el sistema aun en longitudes mayores; pero entonces es necesario, ó subdividir la longitud de la rotura, creando medios de apoyo por medio de castillejos de madera ú otro sistema, con lo cual se tropezaría con las mismas dificultades del sistema antiguo, ó aumentar mucho el número de cables, lo cual es preferible *a priori*.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ 3.—**Hidráulica marítima.**

389. *Topografía del mar.*—Se han trazado planos, llamados *cartas hidrográficas*, de todos los mares, ó, al menos, de la mayor parte de los litorales, y sirven de guía en la navegación. En estas cartas se indican las diversas profundidades, y, con una letra al lado de las cifras, la naturaleza del fondo.

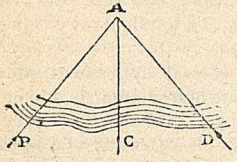


Fig. 328.

Hay muchos métodos para levantar estos planos. Para fijar en el plano la posición de un sondeo A, cuando desde él se pueden observar tres puntos fijos B, C, D, sobre la costa, se trazan en un papel transparente estos ángulos, y fácilmente se determina el punto, moviendo el papel hasta que los tres lados pasen por B, C, D (fig. 328).

Reducción del escandallo ó sonda.

R = altura total de la sonda en metros.

K = corrección sustractiva de la profundidad hallada para reducirla al nivel de la bajamar.

T = tiempo que media entre la baja y la pleamar.

t = tiempo que pasa entre la observación y la bajamar.

$$K = \frac{R}{2}\left(1 + \frac{\cos 180^\circ \frac{t}{T}}{T}\right) \text{ cuando } \frac{180^\circ \frac{t}{T}}{T} > 90^\circ \qquad (1)$$

$$K = \frac{R}{2}\left(1 - \frac{\cos 180^\circ \frac{t}{T}}{T}\right) \quad » \quad \frac{180^\circ \frac{t}{T}}{T} < 90^\circ \qquad (2)$$

También se emplea la fórmula de Herschel

$$r + m \cdot \cos\left(\frac{t_1}{T}\ 180^\circ\right) \qquad (3)$$

en la que r = nivel medio de la bajamar en el punto donde se sondea; m = altura del nivel medio el día del sondeo; T, como antes; t_1 = tiempo medio transcurrido desde la última pleamar.

Además de la regla práctica dada anteriormente para los levantamientos de planos más exactos, se acostumbra á trazar en el terreno grandes alineaciones, con señales visibles desde el mar. En

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

un barco se sigue la dirección de una alineación en la intersección de dos de éstas, se detiene la marcha, se hace el sondeo, avisando con señales. Así se marca el punto, mientras con un observador de alturas de marea se anota la hora de la observación.

390. *Medidas marinas.*—La *milla marina* ó *nudo* es la longitud de un minuto de la circunferencia terrestre; se llama también *milla geográfica* de 60 al grado, y es = 1.851,85 metros.

En España la milla legal vale 1.852 metros; la legua marítima = 5.556 metros.

En los demás países se usan las siguientes:

Inglaterra

1 Furlong	=	201,17 metros.
Statute mile	=	1.609 »
Nautical mile	=	1.852 »
1 league (legua) = 3 millas	=	5.556 »

Francia.

1 mille marine	=	1.352 metros.
1 lieue	=	4.444 »
1 ídem marine (20 al 0°)	=	5.556,56 »
1 ídem postal	=	3.898,07 »

Alemania.

1 seemeile (milla marina)	=	1.852 metros.
1 ídem de 15 al 0°	=	7.407,41 »

Sajonia.

1 legua (de 50 al 0°)	=	2.222,22 metros.

Rusia.

1 versta	=	1.067 metros
1 milla geográfica	=	7.405,14 »
1 versta	=	500 sagenas.

Holanda.

Zeemijl (milla marina)	=	1.852 metros.

Portugal.

1 legoa	=	6.173 metros.

Dinamarca.

1 sömil (milla marina)	=	7.407 metros.
1 legua	=	10.598,94 »

Suecia.

1 mil	=	10.688 metros.

Noruega.

1 mil	=	11.295 metros.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Malta.

1 legua..... = 4.835,56 metros.

Provincias romanas.

Legua..... = 7.534,35 metros.

Suiza.

Legua..... = 10.598,94 metros.

Hungría.

Legua..... = 8.560,70 metros.

Turquía.

Parasanga ó Agash..... = 5.000 metros.
1 milla..... = 1.477,37 »

China.

Ly..... = 578,70 metros.

Medidas marítimas antiguas.—Asia: milla persa = 1.666,67 metros. Estadio = 222,22 m. Parasanga persa = 5.000 m. Coss indio = 2.500 m. Gau indio 10.000 m. Estadio náutico ó persa, Toxeuma = 166.67 m. *China:* pû de 10 ly de 1.800 pies = 4.444,44. Can ó Dieta (viaje de un día) = 44.444,44 m. *Egipto:* Escheno del Delta, de 4.800 pasos = 6.666,67 m. Echeno de la Tebaida = 10.000 metros Escheno del Egipto medio = 20.000 m; milla de 1.440 pasos = 2.000 m. *Israelitas:* milla ó kerab = 1.111,11 m. Dieta de 200 estadios grandes = 46.666,67. *Grecia:* milla itálica de 2 hipicones de 4 estadios olímpicos = 1.481,48 m. *Milla* europea = 1.388,89 m. Dieta = 37.037,04 m. Las medidas griegas se usaron también por los romanos.

391. *Definiciones.—Costa* es la extensión de tierra situada á la orilla del mar; cuando ofrece pendiente suave se denomina *playa*, y *acantilada* si está formada por fuertes escapes ó *cantiles*.

Cuando la costa es seguida y sin abrigo, se dice *abierta; brava*, la muy rocosa sin playas.

Litoral. Costa ó terrenos próximos al mar, y también el conjunto de las costas de un país.

Dunas. Montículos formados por las arenas en las playas y que el viento arrastra después hacia el interior. En algunas localidades de España las llaman algaidas, navazos, médanos, etc., etc.

Cordón litoral. Cordón ó faja de guijarros que se forman en las playas cuando las olas rompen normalmente á la costa.

Barra. Banco de arena ó fango en la boca de los ríos ó rías.

El *nivel del mar* es la superficie que *generalmente* se admite como la más baja y de nivel constante. Esto no es del todo exacto.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El mar Caspio está 25 metros más bajo que el Mediterráneo. El mar Muerto, 394 metros más bajo que el citado Mediterráneo. En el istmo de Panamá, el Océano Pacífico está 2,70 m. más bajo que el mar Caribe.

Movimientos del mar.—Los principales movimientos del mar son tres: las *mareas*, las *olas* y las *corrientes*.

392. *Mareas.*—Según los principios generalmente admitidos, son producidas por la atracción de la luna. Las mareas consisten en la elevación y descenso periódico del mar. En cada día hay dos elevaciones ó *pleamares* (flujos), y dos descensos ó bajamares ó reflujos.

Las mayores mareas, llamadas *mareas vivas*, ó de agua viva, tienen lugar en la *sizigias* (luna nueva y luna llena) y las menores, ó *mareas muertas*, en las cuadraturas (cuartos creciente y menguante). Las mayores mareas son las vivas equinocciales, y las menores las bajas equinocciales.

Hora del establecimiento de un puerto es la hora de la pleamar media en el plenilunio ó novilunio. Cuando se conoce la hora de la pleamar en un día dado y la distancia entre este momento y una *sizigia*, ó la distancia entre este momento y una cuadratura, se puede calcular la hora del establecimiento ó *establecimiento de un puerto* con el auxilio de una tabla de retardos de marea, como la que se inserta á continuación.

Ejemplo. Supóngase que en un puerto la pleamar es hoy á las 6 h. y 40′ y que el plenilunio tenga lugar á los 3 ½ días. Buscando en la tabla de *retardos*, se hallará que para 3 ½ días la marea se retardará 2 h. 29′ y será, por consiguiente, á las 9 h. 9′ minutos, que es el establecimiento del puerto.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

RETARDOS DE LA MAREA

Días antes del plenilunio ó novilunio	Adelanto. Horas	Adelanto. Minutos	Días antes de la cuadratura	Retardo. Horas	Retardo. Minutos	Días después del novilunio ó plenilunio	Adelanto. Horas	Adelanto. Minutos	Días después de las cuadraturas	Retardo. Horas	Retardo. Minutos
7 1/2	—	—	7 1/2	—	—	0 1/2	0	17	0 1/2	5	39
7 —	—	—	7 —	—	—	1 —	0	36	1 —	6	19
6 1/2	—	—	6 1/2	—	—	1 1/2	0	54	1 1/2	6	58
6 —	5	22	6 —	0	54	2 —	1	11	2 —	7	37
5 1/2	4	42	5 1/2	1	11	2 1/2	1	28	2 1/2	8	14
5 —	4	04	5 —	1	28	3 —	1	46	3 —	8	47
4 1/2	3	34	4 1/2	1	46	3 1/2	2	03	3 1/2	9	17
4 —	2	58	4 —	2	03	4 —	2	21	4 —	9	44
3 1/2	2	29	3 1/2	2	21	4 1/2	2	40	4 1/2	10	09
3 —	2	04	3 —	2	40	5 —	3	01	5 —	10	32
2 1/2	1	39	2 1/2	3	01	5 1/2	3	21	5 1/2	10	53
2 —	1	17	2 —	3	21	6 —	3	44	6 —	11	13
1 1/2	0	57	1 1/2	3	44	6 1/2	—	—	6 1/2	—	—
1 —	0	37	1 —	4	09	7 —	—	—	7 —	—	—
0 1/2	0	18	0 1/2	4	37	7 1/2	—	—	7 1/2	—	—

Para averiguar la altura de la pleamar en un día dado, hay que que conocer la hora del establecimiento del lugar, la edad de la luna y la hora del paso de la luna por el meridiano.

Las edad de la luna se obtiene mirando la *epacta* del año (edad de la luna en 1.º de Enero), la epacta del mes y el día del año. Si el el resultado es mayor de 29 días, 12 horas, 44 minutos, que es el mes lunar, se restará esta cantidad. La epacta de los meses es: Enero 0, Febrero 2, Marzo 1, Abril 2, Mayo 3, Junio 4, Julio 5, Agosto 6, Septiembre 7, Octubre 8, Noviembre 9, Diciembre 10.

Cuando la luna es nueva, pasa por el meridiano con el sol; la hora del paso de la luna por el meridiano *n* días después del novilunio será *n e*, representando *e* la edad de la luna. En el producto *n e* se separa la última cifra (las unidades), que multiplicada por 6 dará los minutos; las demás cifras representan las horas, á que pasa la luna por el meridiano, después del medio día; si son más de 12 se restan, y la hora será por la mañana.

Para averiguar la hora de la *pleamar* en un día y lugar dado, se suman las horas del establecimiento del puerto y la del paso de la luna por el meridiano.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ESTABLECIMIENTO DE ALGUNOS PUERTOS

PUERTO	Hora del establecimiento.	PUERTO	Hora del establecimiento.
	h '		*h* '
Málaga	2—30	Venecia	10—50
Cádiz	1—15	Brindisi	6—18
Huelva	2—6	Nápoles	9 47
Vigo	3—15	Civita-Vechia	7—51
Pontevedra	3—20	Habana	8 14
Coruña	3—30	Santiago de Cuba	8—30
Ferrol	3—0	S. Juan do Puerto Rico	8—2
Gijón	3—0	Manila	10—30
Santander	3—0	Buenos Aires	6—40
Portugalete	2—15	Río Janeiro	3 0
San Sebastián	3—00	Veracruz	2—30
—		New-York	8—13
Ceuta	2—6	San Francisco	0 6
Jafa	10—0	Panamá	2 35
Pola	9—16	Callao	6—01
Trieste	9—35	Valparaíso	9—32

El *nivel medio* del mar, no es la media entre la plea y la bajamar. Para establecerlo se usan aparatos denominados *mareómetros* ó *mareógrafos*, que son análogos á los *hidrómetros* é *hidrometrógrafos* ó hidrómetros *registradores*, con la diferencia de aplicarse á los mares en vez de á los ríos.

393. *Olas.*—Las olas son producidas por la acción y presión del viento.

Cuando se conoce la velocidad v del viento, se deduce en general su *fuerza* ó presión por metro cuadrado de superficie, de la fórmula

$$F = 1{,}08612\ v^2$$

Longitud ó amplitud de la onda, la distancia entre dos elevaciones ó dos depresiones de olas. *Altura,* el desnivel que hay entre una elevación y una depresión.

Marejada, agitación que las olas producen en el mar, sin que á veces se observe viento.

Mar de fondo, cuando esta agitación se observa en el fondo sin agitación aparente en la superficie.

Sobre la *forma de la olas* se han hecho muchas hipótesis, sin que pueda señalarse ninguna como completamente exacta.

La longitud ó amplitud de las olas es muy variable; se han ob-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

servado algunas de 300, 400 y hasta 620 metros de longitud, y alturas que se elevaban á 9, 13 y aún 15 metros.

La fuerza de las olas no se ha podido calcular exactamente; por los efectos causados se ha deducido que á veces pueden llegar á presiones de 30.000 kilogramos por metro cuadrado. Estos esfuerzos se manifiestan claramente en los puntos donde las olas encuentran algún obtáculo, como en las obras de los puertos, etc.

La *resaca* es toda agitación indirecta, en la costa, producida por corrientes, olas reflejadas, etc. Suele distinguirse por algunos la *resaca de fondo* de la *de superficie*.

Scott Russell ha deducido las siguientes conclusiones:

1.ª Cuando la longitud de una onda no es mayor que la profundidad del agua, la velocidad de dicha onda depende (sensiblemente) de la longitud, y es proporcional á la raiz cuadrada de ésta.

2.ª Cuando la longitud no es menor de mil veces la profundidad del agua, la velocidad depende de esta profundidad y es la misma velocidad que adquiriría un cuerpo cayendo desde una altura igual á la mitad de la profundidad del agua.

3.ª Para amplitudes intermedias entre las citadas, la velocidad sólo puede deducirse mediante una ecuación general. En ningún caso una onda (no rota) tiene una altura mayor de 11 á 12 metros. Una ola rompe cuando su altura sobre el nivel del agua es igual á la profundidad del líquido.

4.ª La velocidad de una onda y el período de una ondulación están dados por las expresiones:

$$T = \sqrt{L}$$

Cuando $L < P$

$$V = 3{,}13\sqrt{P}$$

si $L > 1000\ P$

$$V = 3{,}13\sqrt{D\left(1 + 3\frac{H}{P}\right)}$$

cuando la altura de la onda da una relación apreciable con la profundidad.

T = período ó tiempo de una ondulación.
v = velocidad en metros por 1" de la onda.
P = profundidad: H = altura de la onda (en metros).
L = longitud ó amplitud de la onda.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Onda de traslación (onda de primer orden ú onda solitaria).—La velocidad no depende de la intensidad del impulso que engendra la onda: el movimiento de las moléculas del flúido es siempre en la misma dirección en la onda, lo mismo en el fondo que en la superficie.

El movimiento más intenso de las moléculas flúidas sobre una misma vertical es debajo de la cresta. Las moléculas, en el intervalo entre dos ondas, están en reposo. La forma de una onda larga es sensiblemente una cicloide, aproximándose más á esta curva cuando la altura es igual á $^1/_3$ de la longitud. Si la altura es mayor de $^1/_3$ de la longitud, rompe.

Onda de oscilación (onda de segundo orden).—En los mares ordinarios las ondas son de segundo orden, pero pueden llegar á serlo de primero, como por ejemplo, las en los bajos fondos.

Tienen forma cicloidal. El movimiento del agua fluctúa de un punto á otro. En la cresta de la ola el movimiento de las moléculas flúidas está en la misma dirección que la onda, pero en el intervalo entre dos ondas el movimiento es en dirección opuesta. El movimiento es máximo en la cresta ó en el punto más bajo entre dos ondas, no habiéndolo á la mitad de la altura de la onda.

La potencia destructora de una ola es directamente proporcional á su altura, y máxima cuando la ola rompe. A una profundidad igual á la longitud de la onda, el movimiento se reduce á $\frac{1}{534}$ del de la superficie.

En los lugares expuestos y en aguas profundas, las olas pueden ejercer un esfuerzo de rotura instantánea de 17.000 kilogramos por metro cuadrado de superficie vertical.

La dirección de las olas es la de los vientos: hay *ondas oscilantes* que no tienen movimiento aparente, sino simples oscilaciones, como el agua de un vaso agitado de arriba á abajo, éstas no tienen dirección. La *onda solitaria* de Scott-Russell corresponde á un aumento de gasto: tiene, por consiguiente, el de la corriente que lleva.

394. *Rosa de los vientos.*—Las direcciones del viento se reducen á 32 generales. *Rosa de los vientos* se llama al espacio dividido en 32 sectores. El *Norte* se supone en la parte superior; á la derecha se halla el primer cuadrante; los vientos se cuentan como sigue:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Cuadrante.	Número...	Nombre del viento.	Símbolo.	Angulo con la línea N.S.	Nombres particulares que reciben algunos de ellos.
	1	Norte	N.	0º	Tramontana
	2	Norte 1/4 al Nordeste	N. 1/4 NE.	11º-15'	Septentrión,
	3	Nordeste	N.-NE.	22 30	boreal.
	4	Nordeste 1/4 al Norte	NE. 1/4 N.	33 45	
1.º	5	Nordeste	NE.	45	
	6	Nordeste 1/4 al Este	NE. 1/4 E	56 15	
	7	Este-Nordeste	E.-NE.	67 30	
	8	Este 1/4 al Nordeste	E. 1/4 NE.	78 45	
	9	Este	E.	90	Levante,
	10	Este 1/4 al Sudeste	E. 1/4 NE.	101 15	oriente,
	11	Este-Sudeste	E.-SE.	112 30	solano.
2.º	12	Sudeste 1/4 al Este	SE. 1/4 E.	123 45	
	13	Sudeste	SE.	130	Siroco.
	14	Sudeste 1/4 al Sud	SE. 1/4 al S.	146 15	
	15	Sud-Sudeste	S.-SE.	157 30	
	16	Sur 1/4 al Sudeste	S 1/4 SE.	168 45	
	17	Sur	S.	180	Mediodía.
	18	Sur 1/4 al Suroeste	S 1/4 SW.	191 15	
	19	Sur-Suroeste	S.-SW.	202 30	
3.º	20	Suroeste 1/4 al Sur	SW. 1/4 S.	213 45	
	21	Suroeste	SW.	225	
	22	Sur-Oeste 1/4 al Oeste	SW. 1/4 W.	236 15	
	23	Oeste Suroeste	W.-SW.	247 30	
	24	Oeste 1/4 al Suroeste	W. 1/4 SW.	258 45	
	25	Oeste	W.	270	Poniente.
	26	Oeste 1/4 al Noroeste	W. 1/4 NW.	281 15	
	27	Oeste Noroeste	W. NW.	292 30	
4.º	28	Noroeste 1/4 al Oeste	NW. 1/4 W.	303 45	
	29	Noroeste	NW.	315	
	30	Noroeste 1/4 al Norte	NW. 1/4 N.	326 15	
	31	Noroeste	NW.	337 30	
	32	Norte 1/4 Noroeste	N. 1/4 NW.	348 45	

ESCALA TERRESTRE

NOMBRE, VELOCIDAD Y PRESIÓN DEL VIENTO

Número de orden.	NOMBRE	Velocidad metros por 1".	Presión kilogramos por m.²
0	Calma	0 ÷ 0,5	0 ÷ 0,16
1	Brisa ligera	0,5 ÷ 0,4	0,16 ÷ 1,87
2	Viento moderado	4 ÷ 7	1,87 ÷ 5,96
3	— fresco	7 ÷ 11	5,96 ÷ 15,27
4	— fuerte	11 ÷ 17	15,27 ÷ 34,35
5	— violento (tempestad)	17 ÷ 28	34,35 ÷ 95,40
6	Huracán	28 en adelante.	95,40 en adelante.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Escala marina ó de Beaufort.

NOMBRE, VELOCIDAD Y PRESIÓN DEL VIENTO

Número	NOMBRES	Signos Beaufort.	Presión en kilogramos por metro cuadrado.	Velocidad en kilómetros por hora.
0	Calma	◉	0,00	0,00
1	Ventolina		1,22	11,4
2	Viento muy flojo		4,88	22,8
3	» flojo	←	10,99	34,1
4	» bonancible		19,53	45,5
5	» fresquito		30,52	56,9
6	» fresco	←	43,94	68,3
7	» frescachón		59,81	79,7
8	» duro		78,12	91,0
9	» muy duro	←←	98,87	102,4
10	Temporal		122,06	113 8
11	Borrasca		147,70	125,2
12	Huracán	←←←	175,77	136,6

395. *Corrientes marinas.*—La diversidad de temperatura de las masas de agua en el Océano y las diferentes presiones de la atmósfera en los diversos puntos del mismo, producen corrientes en direcciones distintas. En el Océano hay grandes corrientes, como la *Gulf-Stream* (corriente del Golfo), la corriente del Cabo, etcétera; pero éstas tienen más importancia náutica y físico-geológica. La denominada *corriente litoral del Mediterráneo* ofrece un gran interés hidráulico. Esta corriente, conocida también con el nombre de *movimiento rotatorio* del Mediterráneo, se manifiesta en todo el litoral de Grecia, Dalmacia, Véneto, Nápoles, Liguria y en las costas francesas y españolas. Mide un ancho de unas 6 millas; la dirección, amplitud y velocidad varían bastante con los vientos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

396. *Emersión de las playas.*— Es un hecho indudable que algunas playas, principalmente en Italia, se van elevando y extendiendo, con grave perjuicio de algunos puertos, que quedan en seco. Rávena, en la Edad Media, se hallaba á la orilla del mar; hoy dista una longitud considerable. Lo mismo sucede con Ostia y otras poblaciones, que han perdido las ventajas de su puerto. Dos teorías tratan de explicar estos hechos: una, la de Montanari, que lo atribuye á la *corriente litoral,* que transportaría las arenas de los ríos á lo largo de las playas; la otra, de Cialdi, demostraba que el movimiento ondulatorio, y más sencillamente la la ola de fondo, hacía salir la arena, cegaba los puertos y elevaba las playas.

De estas teorías, la primera se aceptó durante mucho tiempo; en la actualidad se acepta la segunda, obteniéndose muy buenos resultados en los estudios hechos fundándose en ella.

Puertos, playas y faros.

397. *Puertos* (1).

Puerto.—Es genéricamente una estación de transbordo entre los transportes por mar y tierra. Comprende:

1.º *Zona de flotación,* donde los buques encuentran aguas tranquilas, profundas y extensas para mantenerse siempre á flote y en completa seguridad.

2.º *Zona de servicio,* donde la recepción, clasificación, estancia y almacenado, y expedición de viajeros y mercancías, se efectúa rápida, segura y económicamente.

La zona de flotación debe estar en comunicación directa ó indirecta con el mar y con las vías de navegación interior. La zona de servicio, con las vías férreas y ordinarias.

Complemento no indispensable, pero sí muy conveniente, son: astilleros, para la reparación de buques; lazaretos, para observación y desinfección de personas y mercancías de procedencia sospechosa.

Pueden clasificarse:

Desde el punto de vista del *principal servicio* á que se destinan, en *militares, comerciales, de refugio* y *pesqueros.*

Con arreglo á su ubicación, en

---

(1) En la definición y clasificación de puertos se ha seguido la dada por el ingeniero Sr. Zafra, profesor de la asignatura en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

- **Puertos interiores**
  - De ría — Sevilla, Londres, Hamburg.
  - De estuario
    - Propiamente dicho — Lisboa, Liverpool, New-York.
    - Rías gallegas, Fiordos noruegos — Vigo, Trondhjem.
    - Desembocadura — Cuxhaven.
  - De ría y estuario — Bilbao, Aberdeen.
  - De río — Colonia, New-Orleans.
  - De canal — Manchester, Brujas.
  - De laguna — Venecia.
- **Puertos exteriores**
  - De abrigo natural
    - Completo — Santander, San Francisco.
    - Artificial — Cartagena, Plymouth.
  - De abrigo artificial con diques
    - Arraigados en la costa — Barcelona, Inmiden.
    - Aislados — Marsella, Trieste.
    - Arraigados y aislados — Valencia (en proyecto), Dover.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

398. *Principales obras de los puertos.*—Son varias, que pueden agruparse en: 1.º *Obras de abrigo.*—2.º *Obras interiores para el servicio del puerto.*—3.º *Obras para la construcción y reparación de buques.*

El primero comprende los rompeolas y diques.

399. *Rompeolas.*—Se distinguen en *fijos* y *flotantes:* ambos tienen por objeto destruir ó aminorar la fuerza de las olas, impidiendo daños dentro del puerto. Los primeros consisten en diques de formas y materiales resistentes, según las condiciones de la localidad.

Los segundos son construcciones de madera ó hierro, flotantes, que se anclan al fondo del mar.

La orientación de los rompeolas tiene gran importancia y debe estudiarse detenidamente.

400. *Diques y muelles.*—Son las construcciones destinadas á limitar el puerto y facilitar las operaciones de auxilio, carga y descarga. El espacio abrigado ó separado se divide generalmente en dos partes: *antepuerto*, en el que pueden fondear los buques al abrigo de los temporales, esperando carga ó para hacerse á la mar en momento favorable; y el *puerto*, propiamente dicho, provisto de *dársenas* (de *flotación* si es preciso), muelles de *carga y descarga*, de *recinto*, de *ribera* y *embarcaderos*.

Los diques de abrigo fijos se dividen en *continuos* y *discontinuos*, y según los materiales que entran en su construcción, aparejos seguidos, etc., se subdividen en de *fábrica, madera, hierro* y *mixtos*. Los de fábrica se distinguen en de *escollera, concertados* y *mixtos*.

Aún se hace para los de escollera una distinción: en diques en el Océano, ó diques en mares mediterráneos. Suponiendo los primeros subdivídense en:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

					TIPOS
Diques	Escollera	Sola	Cantos naturales	Sin clasificar	Portland.
				Clasificados	Alicante, Marsella.
			Bloques artificiales		»
		Revestida con bloques		Arrojados	Orán, Libau.
				Concertados	Cartagena, Liorna.
	Concertados, sobre fondos			Alisados	La Luz, Dover.
				Enrasados con sacos	Musel, Aberdeen.
	Basamento de escollera (ó de sacos) y superestructura concertada	Sillares artificiales con aparejo recto ú oblicuo			Tarragona, Colombo.
		Grandes monolitos	Rellenos bajo el agua	Aislados	Bilbao, Valparaíso.
				Con defensa de bloques	Barcelona.
			Construídos en seco		Valencia.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los diques de madera y hierro tienen aplicación en determinados casos.

Ejemplos de tipos de diques.

Muelle del puerto de Plymouth (fig. 329).—Está construído en las circunstancias siguientes:

Altura del agua (pleamar)..... 14,18 m.
» » (bajamar)..... 9,15 »

Talud exterior: $^{7}/_{4}$ desde el fondo hasta 2,30 m. bajo la bajamar $^{4}/_{1}$ hasta el nivel de la bajamar; $^{16}/_{1}$ hasta 1,40 m. sobre la bajamar y $^{5}/_{1}$ hasta la pleamar. Talud interior: $^{7}/_{4}$ bajo y $^{2}/_{1}$ sobre la bajamar.

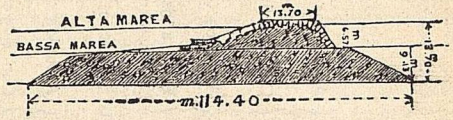


Fig. 329.

Revestimiento de sillares enlazados por pernos y barras.

Dique de Portland (fig. 330).

Altura del agua (pleamar)..... 17,70 m.
» » (bajamar) .... 15.55 »

Talud interior: $^{1}/_{1}$ desde el fondo á 6,10 metros bajo el nivel de la bajamar; $^{2}/_{1}$ hasta 3,65 bajo el mismo nivel; $^{6}/_{1}$ hasta la bajamar, y $^{4}/_{1}$ hasta la plea. Talud interior, $^{3}/_{4}$. El dique está formado de escollera, y la coronación de sillería.

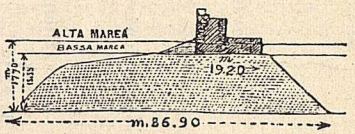


Fig. 330.

Dique de Dower (sistema concertado) (fig. 331).

Altura del agua (pleamar)..... 18,60 m.
» » (bajamar) .... 12,80 »

El cuerpo del dique construido de sillares de hormigón. Taludes de $^{1}/_{4}$ con salientes.

Dique de Marsella (fig. 332).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Altura del agua, 10 m.—Talud exterior, revestido de bloques de hormigón de 26 toneladas (dimensiones, 4,40 por 6,10); talud de $^1/_1$ la parte sumergida y $^5/_2$ la emergente. Revestimiento interior: blo-

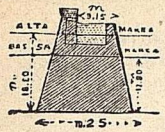


Fig. 331.

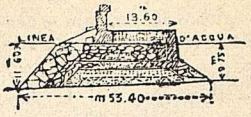


Fig. 332.

ques de 2 á 5 toneladas, con un espesor de 3,60 m.; cuerpo del dique formado de *menudo* y bloques de 1.ª, 2.ª y 3.ª clase.

Dique de Argel (fig. 333).

Altura del agua, 15,25 m. Carrera de marea insignificante; base del dique escollera hasta 10 m. bajo el nivel del agua; el resto grandes bloques de hormigón de 26 toneladas; taludes: exterior, $^1/_1$ y $^5/_4$; interior, $^1/_1$.

Fig. 333.

401. *Muelles de servicio.*—Los que sirven para la carga y descarga de los buques.

Deben poder atracar á ellos los buques, y en la *zona de servicio* ofrecer espacio para la circulación de carros, vagones, etc., así como para instalar grúas, etc.

Todo buque, por la escala y operaciones que ejectúa en un puerto, paga una tasa ó derecho proporcional al tonelaje; éste se evalúa de varios modos: Generalmente se emplean las fórmulas:

$$\text{Para buques de vela: } T = \frac{L.\,l.\,h.}{3{,}80}$$

$$\text{» » de vapor } T = 0{,}60\,\frac{L.\,l.\,h.}{3{,}90}$$

en los que L, l, h son, respectivamente, la eslora, manga y puntal. En los buques de vela se suele admitir $h = 0{,}66\,l$; $l = 0{,}18$ á $0{,}25\,L$; y para los vapores $h = 0{,}8\,l$ y $l = 0{,}12\,L$.

En España se usa la

$$T = {}^1/_4\,\frac{(L + 3\,l)\,l'\,h}{70{,}19}$$

l' = manga interior ó de arqueo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El método de los constructores es usar la fórmula

$$T = \frac{0{,}50\,(L - 0{,}66\,l;\, l^2}{2{,}65}$$

El cálculo del tonelaje se denomina *arqueo* (véase).

La longitud de los muelles de servicio se determina con la fórmula

$$S = \frac{Tc - Ts}{Tmax} + \Sigma\, Ls$$

en la que

T_C = tonelaje de los buques atracados ó zarpados con cargas.
T_S = vapores de escala periódica.
$T_{max.}$ = tonelaje total de un puerto en el año.
$\Sigma\, L_S$ = suma de esloras de los vapores periódicos T.

Como dimensiones máximas, pueden admitirse para los buques mercantes y de guerra:

$L = 125$ m.; $l = 25$; (calado i) $= 7{,}50 \div 8{,}00$.

Acorazados ingleses $L = 120$ m.; $l = 18$; $i = 9$. Acorazados italianos: $L = 122$ m.; $l = 22$; $i = 8{,}60$ (tipo de Italia).

Los modernos Dreadnoughts llegan á medir hasta 165 metros de eslora y 9 de calado.

Las dársenas en que han de permanecer fondeados los buques se calculan tomando como base el número de buques que pueden reunirse en estas condiciones. Se disponen *boyas* de amarra en puntos y número convenientes.

402. *Antepuertos y radas.*—Son espacios, abrigados del mar, que preceden al puerto y en los que pueden permanecer los buques, esperando la entrada en el puerto, ó de arribada. La extensión se deduce de la superficie que pueden ocupar los barcos que generalmente fondean en dicho lugar, dato que se obtiene de la estadística del puerto. En algunos antepuertos se producen *aterramientos* de consideración. La figura 334 representa el puerto de Fécamp, en el que durante muchos años el antepuerto estaba inutilizado á consecuencia de los aterramtentos del río Valmont.

403. *Careneros, varederos.*—Se disponen en las orillas de pendiente muy suave, en que por medio de máquinas se dejan los barcos en seco para reparaciones.

404. *Diques secos de carena.*—Son dársenas ó especie de esclusas, en que entran los buques para hacer reparaciones en la ca-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

rena ú obra viva. Cuando ha penetrado el buque se cierra la compuerta, y por medio de bombas se desagua, quedando la nave en seco y pudiéndose fácilmente reconocerla y repararla. Hay muchos tipos (diques del Ferrol).

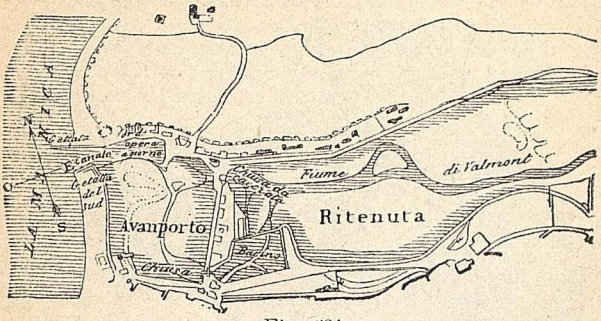


Fig. 334.

Diques flotantes.—Se construyen metálicos y se achica el agua que servía de lastre al dique para mantenerlo sumergido y recibir fácilmente al buque que se ha de reparar.

Dique flotante de Rennié.—Longitud, 107 m., ancho interior, 23 m.; íd. exterior, 32 m.; altura de agua sobre la quilla cuando está sumergido, 8,54. Lleva 8 bombas; carrera del émbolo, 0,0825; diámetro, 0,676 dos máquinas de alta presión con cilindros de 0,45 metros y 0,61 de carrera.

En los puertos en que la carrera de marea es muy grande y los buques quedan en seco durante la bajamar, se disponen *depósitos* como en el puerto de S. Valery (fig. 335) en la Manica, en que se almacena el agua y se la da salida cuando las necesidades de la navegación ó del puerto lo requieren. El depósito de S. Valery puede almacenar 800.000 m. de agua.

En el puerto de Fécamp (fig. 334) el depósito está alimentado por el río Valmont.

405. *Accesorios.*—Los accesorios de los muelles son los *norayes, bolardos, arganeos,* que sirven para amarrar los buques.

Las construcciones que completan el servicio de un puerto son las gradas y varaderos para la construcción y reparación de buques, los tinglados, almacenes, hospitales, oficinas, etc., etc.

406. Las *limpias* de los puertos se hacen por medios especiales para excavar debajo del agua. Estos métodos se emplean donde

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

no pueden hacerse las limpias del modo indicado anteriormente. Consisten en máquinas excavadoras que trabajan en el agua y elevan los productos excavados; reciben el nombre de *dragas*, y para profundidades de hasta 2 metros se usan de *mano;* éstas consisten

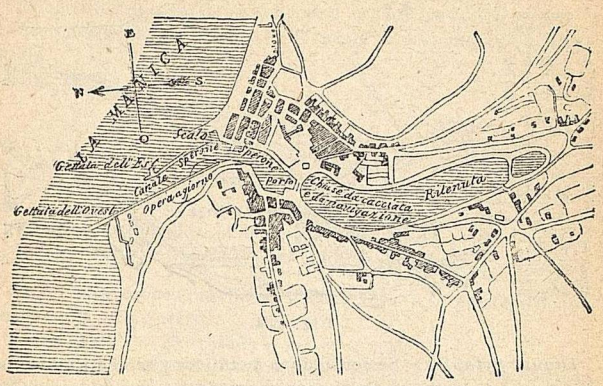


Fig. 335.

en una especie de cuchara provista de un saco de lienzo, que se llena de fango y se vuelca en gabarras ó barcos que la viertan en otro punto.

Las dragas de vapor son verdaderas norias, que descargan en un pontón; pueden también extraer piedras de peso de 60 quintales. Con dragas de mano se pueden excavar de 2 á 5 metros por hora; con las de vapor, hasta 8 metros por hora.

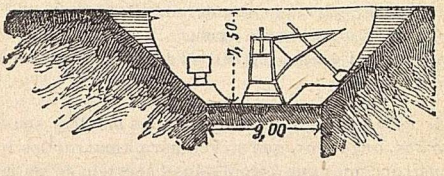


Fig. 336.

La figura 336 representa una draga formada por una sola cuchara. La 337 la instalación de una draga á brazo para excavar á distintas profundidades. La figura 338 una instalación completa de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

draga de vapor con rosario para la excavación y transporte de los productos excavados.

407. *Playas.*—La defensa de las playas, por el modo de actuar en ellas el agua, requieren á veces disposiciones especiales. Las faginas, escolleras, espigones que en el mar se disponen formando diques, se ejecutan como las obras de defensa de los ríos (véase), con la única diferencia de que en los ríos han de depender de la corriente y en el mar de los vientos dominantes.

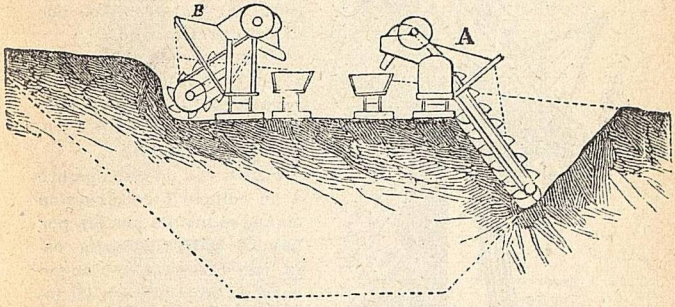


Fig. 337.

Los diques de defensa en el mar, aunque estén bien construídos, presentan algunos inconvenientes. A causa de las sales contenidas en el agua y de la acción mecánica del mar, se producen grietas en los lechos y juntas de los paramentos exteriores. Consecuencia de estudios posteriores á los ensayos de Emy para reforzar los diques con cadenas metálicas, fué adoptar otras formas que no sufriesen tanto por el choque de las olas (fig. 339).

En los tipos de las figuras 340 y 341 se trató de evitar el choque de la ola, consiguiéndose con gran ventaja, sobre todo con el último.

408. *Dunas.*—La defensa de las tierras contra las dunas se reduce á contener su avance y fijarlas. Lo primero se hace, directa ó indirectamente, con espigones, diques, etc., y se las fija con plantaciones de pinos, retama, esparto, etc.

409. *Señales marítimas.*—Por razón de su destino, pueden dividirse en señales de recalada, de costeo, de derrota, de peligro; unas pueden ser positivas, como las de derrota; otras, negativas (de peligro).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pueden clasificarse también en ópticas, acústicas y eléctricas. Por su situación, en fijas y flotantes.

La *apariencia* es la característica de cada señal, que permite distinguirla individualmente.

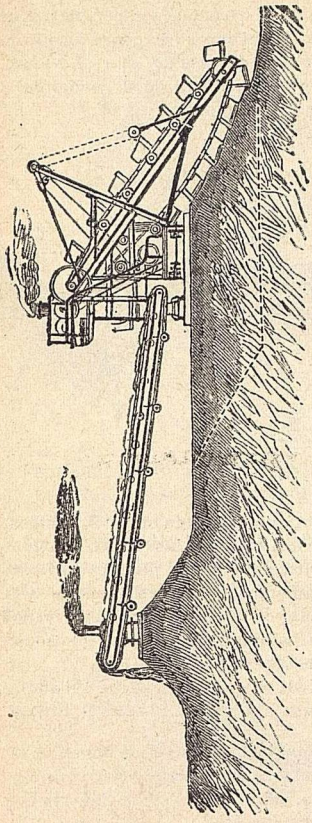


Fig. 338.

Apariencia.—Puede ser fija (colores diversos, notas diversas y variadas).

Variaciones.—Por cambio de color ó de nota, por ocultaciones (cortas), por eclipses (largos), con destellos, por destellos relámpago.

Dentro de cada clase puede ser la variación por períodos regulares (1, 2, 3 en cada uno) y semiregulares (1 y 2, 1 y 3, etcétera).

Faros.—Se da este nombre á un edificio ó construcción en que se instala una luz por la noche para señalar la costa. Los faros constan en general de la habitación del torrero, *torre* y *aparato*. La luz de los faros puede ser *fija, con destellos* y *eclipses*, y combinaciones de éstos.

Los aparatos, según el modo de transmitir la luz, se dividen en *catóptricos*, que la emiten por reflexión; *dióptricos*, por refracción, y *catadióptricos*, que la emiten en ambos modos.

El alcance geográfico de un faro se deduce de la fórmula

$$P = \sqrt{\frac{R\,A}{0{,}42}} + \sqrt{\frac{R\,a}{0{,}42}};$$

en la que

R = radio terrestre. (Véase I.)
A = altura del faro sobre el mar.
a = altura del observador.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los faros generalmente son fijos; donde, por circunstancias especiales, no pueden construirse éstos, se instalan *flotantes*, sobre un barco fuertemente amarrado.

Las *boyas* y *balizas* sirven para señalar puntos determinados

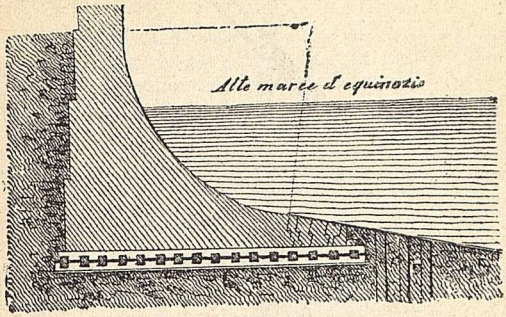


Fig. 339.

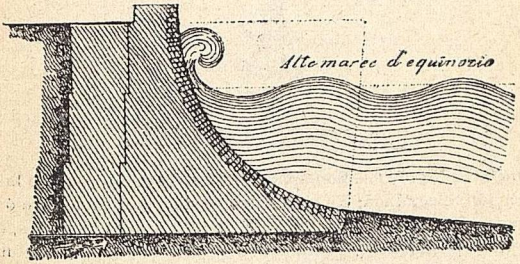


Fig. 340.

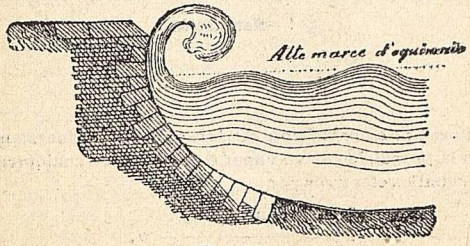


Fig. 341.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de la costa, marcar un escollo ó bajo, ó un canal; cuando se refieren á esto último se denominan *balizas*. A veces se instalan *señales fijas* en tierra.

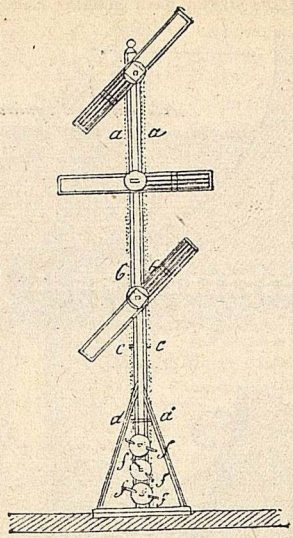


Fig. 342.

Semáforos (fig. 342).—Son aparatos de señales que suplen la comunicación telegráfica: En general se reducen á una torre ó armazón de madera ó hierro, provista de tres brazos movibles, que en diversas posiciones y combinados tienen un significado convenido en el vocabulario marítimo.

§ 4.—**Navegación.**

A).—*Navegación marítima.*

410. *Fuerza de propulsión de las naves.*—La fuerza necesaria para la propulsión de un vapor ó de una nave cualquiera está dada en caballos efectivos por

$$P_e = \frac{R + R_1 + R_2}{75} v.$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

v = velocidad en metros por 1" que corresponda á 0,5144 V; siendo V la velocidad en nudos por hora. En caballos indicados, es:

$$P_i = \frac{P_e}{\alpha}$$

Para buques de hélice, de formas redonda á popa. $\alpha =$ 0,40
Para buques de formas menos redondas á popa... $\alpha = 0{,}50 \div 0{,}55$
Para buques de doble hélice máquinas horizontales $\alpha = 0{,}40 \div 0{,}45$
Para buques de doble hélice máquinas verticales.. $\alpha = 0{,}50 \div 0{,}60$
Torpederos y naves ligeras, con máquinas para para grandes velocidades..... $\alpha = 0{,}55 \div 0{,}70$
Buques mercantes de formas ordinarias..... $\alpha =$ 0,50

La superficie de carena S se expresa por la

$$S = 0{,}61\ L\ (l + 2\ i)$$

ó bien

$$S = \left\{ 0{,}95\ \frac{C}{AL}\ M + 2\ i \left(1 - \frac{C}{AL} \right) \right\} L$$

M = perímetro mojado de la cuaderna maestra:
A = superficie sumergida de la idem íd.

411. La resistencia debida al rozamiento del agua con la carena en un buque, se deduce de la

$$R = 0{,}308\ \mu\ S\ V^2$$

S = superficie sumergida (carena) de la nave en metros.
V = velocidad en nudos por hora (1 nudo = 1.852 metros).
R = Resistencia en kg., debido al rozamiento de la nave con el agua:
μ = coeficiente que varía con la naturaleza de la superficie de carena.
$\mu = 0{,}01$ para planchas lisas de cobre.
$\mu = 0{,}0142$ para tablas (madera) pintadas al óleo.
$\mu = 0{,}227$ para tablas acepilladas solo.
$\mu = 0{,}0199$ para hierro (palastro) pintado al óleo.
$\mu = 0{,}0667 \div 0{,}085$ para superficies cubiertas de algas y conchas.

La resistencia en kg., debida á la sección transversal (cuaderna maestra), está dada en kilogramos por

$$R = A\ P\ K$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y se tiene también

$$P = 1{,}244\ V^2 \ldots\ldots$$

en la que

A = área de la sección sumergida de la cuaderna, maestra:

V = velocidad en nudos (1.852 m.) por hora.

P = fuerza necesaria (en kg.) para mover á través del agua cada m². de un cuerpo de extremos planos.

K = coeficiente para las diversas formas de la línea de agua.

R = Resistencia debida á la sección transversal (cuaderna maestra) de la nave).

Valores de K.

Para un cuerpo de extremos cuadrados. .		K = 1,00
— — —	cilíndrico.	K = 0,90
— — —	de forma cilíndrica	K = 0,70
— — —	formado según la línea de flotación de la nave.	5 á 1; K = 0,11
Idem	ídem	6 á 1; K = 0,077
Idem	ídem	7 á 1; K = 0,057
Idem	ídem	8 á 1; K = 0,046
Idem	ídem	9 á 1; K = 0,034
Idem	ídem	10 á 1; K = 0,028

412. *Perfil de la línea de flotación.*—El perfil de la línea de flotación debe ajustarse á la forma de la figura 343, que se traza del modo siguiente: Se describen el rectángulo que debe circunscri-

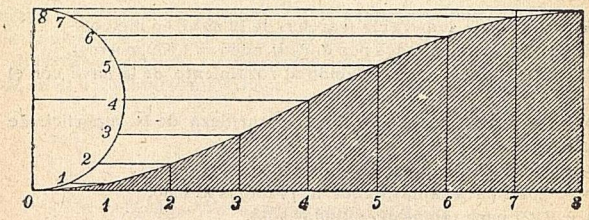


Fig. 343.

birla y una semicircunferencia sobre su lado menor. Se dividen la semicircunferencia y el lado mayor del rectángulo en un mismo número de partes iguales, y por los puntos de división se trazan paralelas á los lados del rectángulo; los puntos de intersección de estas rectas son los de la línea buscada.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Esta línea se emplea, como la de flotación, á proa. La de popa debe aproximarse á una cicloide dispuesta simétricamente al eje de la nave. Prácticamente se puede trazar como se indica en la figura 344, pero las rectas paralelas á los lados mayores del rectángulo circunscrito deben prolongarse más allá de los puntos de intersección con las correspondientes paralelas á los lados menores, en una longitud igual á la mitad de la distancia del lado menor extremo del rectángulo que se emplea como diámetro del semicírculo.

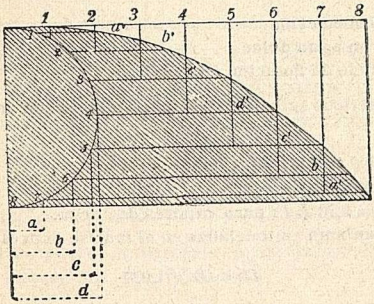


Fig. 344.

413. *Resistencia á las olas.*—Además de la resistencia al rozamiento, las naves tienen que vencer otra, debida á la formación de las olas. Esta resistencia R_2 se expresa por

$$R_2 = 0{,}085\ K\ \frac{D^{\frac{2}{3}}\ V_4}{L}$$

en la que

V = velocidad en nudos por hora.
L = eslora.
K como sigue:

Naves de formas finas y gran velocidad	.....	$K = 0{,}06762$
— — — — —	.....	$K = 0{,}05263$
— — corrientes — —	.....	$K = 0{,}05882$
— — redondas — —	.....	$K = 0{,}066667$

El desplazamiento D en metros cúbicos se deduce de la

$$D = \varphi\ L\ l\ i.$$

φ = coeficiente de finura.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

L = eslora.
l = manga.
i = calado.
D_1 (en ton.) = 1,026 C. en el mar ($D = C$ en agua dulce).
d = desplazamiento por cada cm. de calado.
$d = L\ l\ 0{,}0075$ para formas redondas.
$d = L\ l\ 0{,}007$ — — finas.

El desplazamiento por cada cm. de inmersión se deduce también de:

$d = 0{,}01026\ \omega$ en el mar.
$d = 0{,}01\ \omega$ en agua dulce.
ω = superficie de flotación en metros.

Muchos prácticos calculan el desplazamiento con las siguientes fórmulas:

D (en m³) = $0{,}46\ L\ l\ i$ para vapores rápidos.
i = calado medio.
D (en m³.) = $0{,}70\ L\ l\ i$ para vapores de carga.
El desplazamiento en toneladas en el mar se expresa por

$$D_1 = D \times 1{,}027$$

414. *Estabilidad de las naves.*—El *centro de carena* ó centro de gravedad del volumen de agua desalojado se halla aproximadamente á una distancia de $0{,}40\ i$ ó $0{,}45\ i$ del plano de flotación, según se trate de buques de formas más ó menos redondas.

El *metacentro* es el punto de intersección de la línea de empuje cuando la nave se inclina un ángulo muy pequeño con la línea de empuje en reposo; *radio metacéntrico*, la distancia entre el metacentro y el centro de carena; se expresa por:

$$\rho = \frac{I}{C}$$

I = momento de inercia de la superficie de flotación, respecto al eje, alrededor del que se verifica la desviación; valores particulares del radio metacéntrico.

$$\rho = \frac{\alpha\ l^2}{f\ i} \text{ (transversal)}$$

$$\rho = \frac{\beta\ L^2}{f\ i} \text{ (longitudinal)}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para formas muy finas..... $\alpha = 0{,}04$
— — ordinarias..... $\alpha = 0{,}05$
— — redondas..... $\alpha = 0{,}06$
En todos los casos..... $\beta = 0{,}045$ á $0{,}05$

VALORES DE f QUE VARÍAN CON LA ESLORA DEL BUQUE

$L =$ m.	20	25	30	35	40	45	50	55
$f =$	0,1508	0,1188	0,1474	0,1463	0,1457	0,1451	0,1444	0,1443

$L =$ m.	60	65	70	75	80	85	90	95
$f =$	0,1438	0,1437	0,1434	0,1431	0,1429	0,1426	0,1425	0,1423

$L =$ m.	100	105	110	115	120	125
$f =$	0,1421	0,1420	0,1417	0,1416	0,1415	0,1413

Altura metacéntrica es la distancia entre el centro de gravedad de la nave y el metacentro; se expresa por

$$h = \rho - a$$

$a =$ distancia entre los centros de gravedad y de carena.

El *momento de estabilidad* para una desviación α de la vertical es

$$m = D\,(h_1 - h_2)\,\text{sen}\,\alpha$$

$h_1 =$ altura respecto á la línea de construcción de la intersección de la línea de empuje (vertical que pasa por el centro de carena) con el plano diametral longitudinal de la nave desviada α.
$h_2 =$ altura respecto á la misma línea de construcción del centro de gravedad.

Balances.– El número de balances sencillos por 1′ es:

$$n = \gamma \sqrt{\frac{\rho - a}{l}}$$

ρ y a como antes; $l =$ manga en m.; $\gamma = 160$ á 175 para buques de guerra; 175 á 190 para los mercantes.

415. *Prueba de estabilidad.* –(Da la posición del centro de gravedad de la nave y el valor de la altura metacéntrica $\rho - a$.) Se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dispone sobre cubierta un peso o en el centro de la nave y una plomada de longitud $\lambda = 5$ á 8 m., del puente á la sentina. Se corre el peso hacia las bordas, midiendo la separación efectuada y la correspondiente desviación de la plomada. Sea s la media de las desviaciones del peso y σ las de la plomada, expresadas en metros. Se tiene entonces (expresando p y D en toneladas):

$$\rho - a = \frac{p\ s}{D \text{ sen } a} = \frac{P S}{D \frac{\sigma}{\lambda}}$$

de ordinario $\rho - a$ no debe ser mayor de 0,25; si es mayor, conviene variar la estiva de la carga.

416. *Peso del casco.*—Se expresa por una fracción del desplazamiento D, como sigue:

Marina de guerra.

Acorazados casco de acero con arboladura	0,40 á 0,45
— — — sin —	0,30 á 0,35
— — hierro, tipo antiguo	0,52 á 0,58
— — madera	0,48 á 0,50
Buques con casco de madera, sin coraza	0,50 »
Cruceros, casco de acero	0,50 »
Transportes modernos, con casco de acero	0,48 á 0,50

Marina mercante.

Trasatlánticos rápidos, casco de acero	0,35 á 0,45
Vapores de carga, — —	0,30 á 0,35
Buques con casco de madera	0,35 á 0,45

417. *Arqueo.*—Se denomina arqueo de una embarcación cualquiera la medida de su capacidad.

1) *Arqueo de desplazamiento* (arqueo oficial en los buques de guerra) es el peso del buque, expresado en toneladas cuando flota con la inmersión (calado), máxima ó línea de carga.

2) *Arqueo sistema Moorson*, para buques mercantes.

a) Tonelaje total.—Es la medida de la capacidad de la nave y comprende la suma de los espacios interiores bajo cubierta y los espacios cerrados sobre cubierta, expresados en pies cúbicos ingleses; la unidad de medida es la *tonelada de arqueo*, que es un volumen de 100 pies cúbicos ingleses = 2,83 metros cúbicos.

Para un avance ó aproximación pueden admitirse las fórmulas del número 400.

Para hallar el tonelaje total se procede como sigue:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Capacidad bajo cubierta.—Se aplican las llamadas reglas 1.ª y 2.ª. Para la primera se considera el buque en tres partes: I, *volumen principal* comprendido bajo la cubierta de arqueo; II, *volumen de entrepuentes* comprendido entre la cubierta de arqueo y la superior, y III, *volumen de espacios cerrados sobre cubierta.*

Para la segunda, sólo se consideran dos partes: Primera, todos los espacios comprendidos debajo de la cubierta superior; segunda, todos los espacios cerrados sobre cubierta. El arqueo bajo la cubierta superior se determina midiendo la eslora L, la manga M máximo y el perímetro C de la cuaderna maestra entre los bordes superiores de la cubierta, y se tiene:

$$\text{Arqueo} = \left(\frac{M+C}{2}\right)^2 \times L \times 0{,}18$$

para buques de hierro.

$$\text{Arqueo} = \left(\frac{M+C}{2}\right)^2 \times L \times 0{,}17$$

para buques de madera ó mixtos.

En los dos casos el tonelaje es igual respectivamente á

$$T = \frac{\left(\frac{M+C}{2}\right)^2 L.\ 0{,}18}{2{,}83} \qquad T = \frac{\left(\frac{M+C}{2}\right)^2 \times L \times 0{,}17}{2{,}83}$$

También se hace dividiendo el buque por planos transversales, en cuatro secciones, si la eslora, es $< 15{,}24$ ms., en 6, si $> 15{,}24$ ms. y $< 36{,}58$ ms.; en 8, si $> 36{,}58$ ms. y $< 54{,}86$ ms.; en 10, si $> 54{,}86$ ms. y $< 68{,}58$ metros; y en 12, si $> 68{,}58$ ms.; se miden las superficies de estas cuadernas, y después se aplica la fórmula de Simpson).

Capacidad sobre cubierta.—Si los espacios cerrados sobre cubierta son de formas regulares, se aplican las fórmulas de los volúmenes de las figuras correspondientes (generalmente suelen ser paralelepípedos), si no, se trazan tres secciones horizontales (una á la mitad de la altura), se mide la superficie y se aplica la fórmula de Simpson.

b) Tonelaje neto ó de registro.—Es la capacidad disponible para carga y pasajeros. Se expresa en toneladas de 100 pies cúbicos y se obtiene del *tonelaje total.* Para ello, conocido éste, se deduce como máximo $^1/_{20}$ para camarotes de oficiales y toda la dotación. Se exceptúa el camarote del capitán y el espacio destina-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

do á los camareros y servidumbre dedicada al servicio del pasaje.

Para los vapores se deduce: 1.°, el espacio ocupado por la tripulación, como en el caso anterior; 2.°, el espacio para calderas, máquinas, carboneras, etc., deducido como sigue: Se mide el espacio ocupado por las calderas, máquinas y sus anejos, sin contar las carboneras. Si este espacio resulta $> 13\,\%$ y $< 20\,\%$ del tonelaje total, la deducción total para calderas, máquinas y carboneras se fija en el $32\,\%$ del tonelaje total en los buques de hélice. Esta deducción es del $37\,\%$ para los buques de ruedas, cuando el volumen antes citado es $> 20\,\%$ y $< 30\,\%$ del tonelaje total.

En los demás casos la deducción se hace de acuerdo entre la Administración naval y el armador, pudiendo una y otro deducir el espacio efectivamente ocupado por las calderas, máquinas y accesorios, aumentando en $^3/_4$ de dicho espacio para buques de hélice, y $^1/_2$ para los de ruedas.

El tonelaje neto varía (en la práctica) de $77\,\%$ del tonelaje total para vapores de hélice en el que el espacio para calderas y máquinas es $< 13\,\%$ y $57\,\%$ (en vapores rápidos, cuando dicho espacio es $> 20\,\%$).

En los *remolcadores* se deduce el espacio efectivamente ocupado por las calderas, máquinas y carboneras.

Otras reglas para hallar el tonelaje neto.

Regla llamada del Danubio.—Se mide el espacio ocupado por las calderas y máquinas y se deduce $1\,^3/_4$ veces este volumen para los buques de hélice y $1\,^1/_2$ veces en los de ruedas, siempre que la deducción no sea $> 50\,\%$ del tonelaje neto (se exceptúan los remolcadores).

Regla alemana.—Se mide el espacio como en la anterior, y además el ocupado por las carboneras y se deducen ambos íntegros, siempre que la deducción no sea $> 50\,\%$ del tonelaje total exceptuándose como siempre los remolcadores.

418. *Buques de vela.*—Van provistos de varias velas, sobre las cuales actúa el viento con diversa fuerza y de distintos modos. Si se construye la resultante de estas fuerzas y se halla el punto de aplicación, este será el *centro vélico.*

La altura del centro vélico sobre el plano de flotación debe ser proporcional á la longitud de esta superficie, para que el buque marche sólo en dirección horizontal y que las diversas maniobras con el velamen, según la dirección del viento, conserva la ruta del buque y su equilibrio.

419. *Arboladura.*—Los buques de vela tienen una, dos ó tres perchas ó *palos* verticales (en candela) ó ligeramente inclinados

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

(con caída) á popa. El palo del centro se llama *mayor*, el de popa *mesana* y el de proa *trinquete*. Casi todos los buques llevan á proa un cuarto palo horizontal ó muy inclinado, denominado bauprés.

Los palos constan de *machos*, *masteleros* y *mastelerillos*; en el bauprés se llaman *botalones*. Todas estas piezas se unen por medio de *cofas*, *crucetas*, *tamboretes* y *cuñas*.

Para colocar las velas se disponen otros palos horizontales ó inclinados que se llaman *vergas*, *botavaras*, *botalones* y *picos*.

Todos los palos pueden ser de madera ó de hierro.

420. *Velas.*—Son generalmente *redondas* (de cuatro lados) ó *de cuchillo* (triangulares); reciben diversos nombres según la situación y el palo en que están colocadas.

La superficie de las velas ha de ser proporcional al volumen y á forma del buque. En la tabla siguiente se indica la superficie del velamen con relación á la superficie de flotación y á la cuaderna maestra á plena carga.

TIPO DEL BUQUE	Relación de la superficie del velamen á la		Relación entre la distancia del centro vélico á la vertical que pasa por el centro de la longitud del plano de flotación.
	Cuaderna maestra de carena.	Superficie del plano de flotación.	
Navíos,.....	27 á 31	3,5 á 4,5	1/15 á 1/25 á proa.
Fragatas.....	36 á 39	3,1 á 3,9	Id. íd. íd.
Corbetas.....	38 á 48	3,1 á 3,9	Id. íd. íd.
Clipers.....	34 á 42	»	1/20 á 1/50 íd.
Bergantín.....	27 á 28	3,8 á 3,4	Id. íd. íd.
Bergantín-goleta.	28 á 29	»	Id. id. íd.
Goleta.....	»	3,6 á 5,0	»
Yates de carrera.	48 á 53	4,8 á 5,2	Muy variable.
Buques menores..	»	2,0 á 4,00	De 0 á 1/8 á popa.

421. *Momentos de las velas.—Momento longitudinal ú horizontal* de una vela se llama al producto de la superficie de la vela como presión, por la distancia de su centro de gravedad al plano de flotación.

Momento vertical de una vela es la superficie de la vela, como presión, multiplicada por la distancia de su centro de gravedad á la vertical levantada en el extremo de la popa.

422. *Determinación del centro vélico.*—Para determinar el centro vélico, se hallan los momentos horizontales y verticales

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de cada vela, y llamando D á la distancia del centro vélico á la vertical de popa, H á la altura del centro vélico sobre el plano de flotación; Σ_v la suma de los momentos verticales y Σ_h la suma de de los momentos horizontales de las velas, siendo S la suma de las superficie de las velas, se tiene:

$$D = \frac{\Sigma h}{S} \qquad D = \frac{\Sigma v}{S}$$

quedando así determinado el centro vélico.

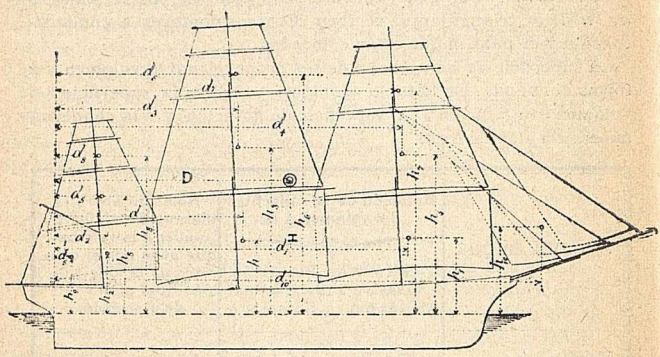


Fig. 345.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

423. Cuadro de los momentos de las velas (fig. 345).

VELAS	Superficie.....	Distancia de los centros de gravedad de cada vela á la vertical de popa.....	Momentos horizontales de las velas.....	Altura del centro de la vela sobre el plano de flotación.....	Momentos verticales de las velas.....	Palo en que se coloca la vela.
Mayor.....	s	d	s d	h	s h	Mayor.
Trinquete... ...	s_1	d_1	s_1 d_1	h_1	s_1 h_1	Trinquete.
Mesana.....	s_2	d_2	s_2 d_2	h_2	s_2 h_2	Mesana.
Gavia.....	s_3	d_3	s_3 d_3	h_3	s_3 h_3	Mayor.
Velacho..... ..	s_4	d_4	s_4 d_4	h_4	s_4 h_4	Trinquete.
Sobremesana.....	s_5	d_5	s_5 d_5	h_5	s_5 h_5	Mesana.
Sobre mayor.....	s_6	d_6	s_6 d_6	h_6	s_6 h_6	Mayor.
Sobre de proa....	s_7	d_7	s_7 d_7	h_7	s_7 h_7	Trinquete.
Perico.....	s_8	d_8	s_8 d_8	h_8	s_8 h_8	Mesana.
Cangreja.....	s_9	d_9	s_9 d_9	h_9	s_9 h_9	Idem.
Foque.....	s_{10}	d_{10}	s_{10} d_{10}	h_{10}	s_{10} h_{10}	Bauprés.
Suma.....	S		Σh		Σv	

424. *Aparejo de un buque de vela.*—Como ejemplo se indica el de una fragata.

PALOS	VELAS
Bauprés.....	Petifoque, foque, contrafoque.
Trinquete....	Trinquete, velacho, juanete, sobrejuanete, rastrera, ala de velacho, ala de juanete de proa, cangreja trinquete.
Mayor.....	Mayor, gavia, juanete mayor, sobremayor, ala de gavia, ala de juanete mayor, estáy mayor, estay de gavia, estáy de juanete mayor, estáy de sobremayor, cangrejo mayor.
Mesana.....	Sobremesana, perico, sobreperico, estáy de mesana, estáy de sobremesana, estáy de perico, estáy de sobreperico, cangreja.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

425. *Relación entre la fuerza y la velocidad de un buque.*— Sea V_n la velocidad del buque en nudos por hora, A_1 la cuaderna maestra sumergida, P_i la fuerza indicada; se tiene:

$$V_n = m \sqrt[3]{\frac{Pi}{A}}$$

$$P_i = \frac{1}{m^3} A \ V_n^3$$

El valor de m, coeficiente de velocidad, varía con A como sigue:

CLASE DEL BUQUE	Valores de A.	Valores de m.
Acorazados	70 á 120 m²	4,1 á 4,3
Cruceros, avisos y transportes	15 á 25 m²	3,2 á 3,6
	30 á 65 m²	3,7 á 4,2
Baterías flotantes y cañoneros	5 á 15 m²	2,8 á 3,4
Chalupas y lanchas de vapor.	0,5 á 1,5 m²	3,2 á 3,3
Buques mercantes	30 á 70 m²	3,8 á 4,1
Vapores para lagos	3 á 9 m²	3,3
Vapores para ríos y canales.	3 á 9 m²	2,7 á 3,0

426. *Jarcia.*—Los cabos ó cables son generalmente de cáñamo y reciben diversos nombres, según su *mena* (desarrollo de su circunferencia).

Filástica, mechón de cáñamo torcido (torsión ó colchado de derecha á izquierda).

Bramante, tramilla, unión de dos filásticas muy delgadas (colchado de izquierda á derecha).

Ramal ó cordón, formado por tres filásticas (colchado de izquierda á derecha),

Vaivén, formado por 32 cordones de 3 á 7 filásticas cada uno, mena 46 á 50 milímetros (1).

Meollar, formado por 2, 3 ó 4 filásticas (colchado á izquierda).

Guindaleza, formada por 3 á 5 ó más ramales, los de 4 llevan *alma*, ó sea un cordón (colchado al revés que los ramales); mena de 80 á 100 milímetros.

Calabrote, formado por 9 ramales (colchado á derecha) ó por 3 guindalezas (colchado á izquierda).

---

(1) El vaivén de 6 á 15 milímetros de mena se llama *merlín*, y *sardineta* cuando está sin alquitranar.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Betas, todos los cabos que no tienen nombre especial; mena de 11 á 111 milímetros.

Coeficiente de rotura y carga de seguridad para *cables* de cáñamo (de una Memoria sobre puentes rígidos, por T. Pardoni).

Número de orden	CLASE DE CABLES	Mena.	Carga de rotura en kilogramos por mm²	Carga de seguridad en kilogramos por mm²
1	Cable de 13 á 14 mm. de diámetro.....	»	8,50	1,40
2	Cable de 14 á 17 mm. de diámetro.....	»	6,50	1,10
3	Cable de 20 á 25 mm. de diametro.....	57 á 71	6,00	1,0
4	Cable de 49 á 50 mm. de diámetro.....	128 á 153	5,50	0,90
5	Cuerdas alquitranadas de 20 á 25 ídem.	57 á 71	2,0	0,30
6	Cuerdas alquitranadas de ídem íd.....	»	4,40	0,75
7	Cables viejos de 23 milímetros de diámetro.	»	3,0	0,50

La jarcia en los buques se divide en *firme* ó *muerta* y de *labor* ó *caballería;* esta última es la que sirve para la maniobra de las velas y aparejos.

427. *Nudos* —El modo de anular los cables tiene gran importancia; á continuación se indican los principales, divididos en tres grupos.

1.º Nudos con dos cables ó con uno solo: *Medio nudo* (fig. 346), *nudo recto* (fig. 347), *nudo doble* ó *lasca* (fig. 348), *vuelta de escota* (fig. 349), *doble vuelta de escota* (fig. 350), *nudo de amarra* (figura 351), *as de guía, balso porreno, ahorcaperro, calafate, vuelta redonda, margarica* y *cadenillas* (para acortar un cabo), *boza, nudo de pescador, nudo de corbata, vuelta de guirnalda.*

2.º Nudos para atar un cabo á un palo, percha, etc.: *Vuelta mordida* (fig. 352), *vuelta de braza* (figuras 353 y 354), *vuelta de driza de ala* (fig. 355), *vuelta de ballestrinque* (fig. 356), *vuelta de rezón* (fig. 357), *vuelta doble de ballestrinque, vuelta de encapilladura, nudos de amarra.*

3.º Nudos para ganchos y anillas: *Vuelta de gancho* (fig. 358), se hace de varios modos; *vuelta de escota entalingar con vuelta de rezón* (figura 359 y 360).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

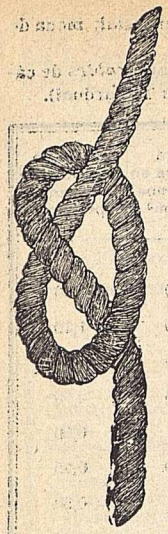


Fig. 346.

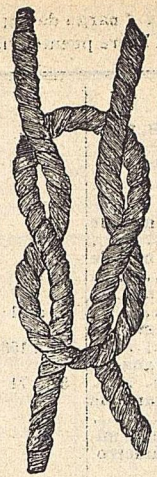


Fig. 347.

Fig. 348.

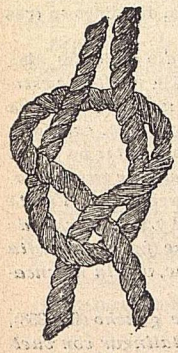


Fig. 349.

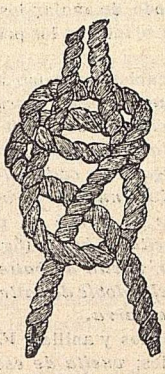


Fig. 350.

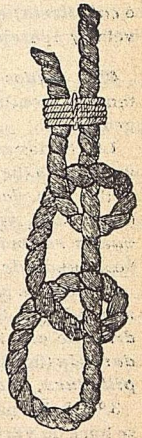


Fig. 351.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

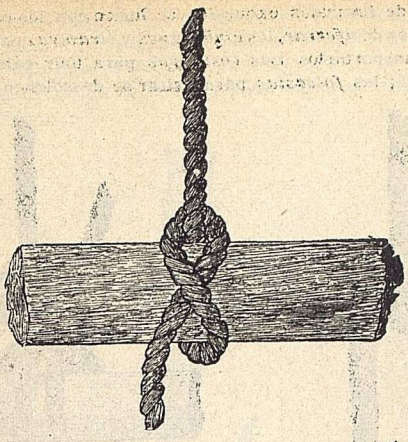


Fig. 352.

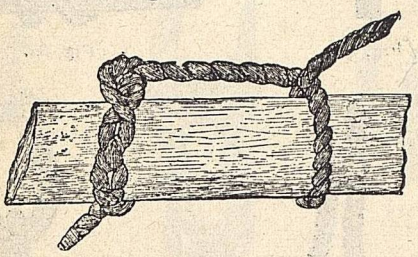


Fig. 353.

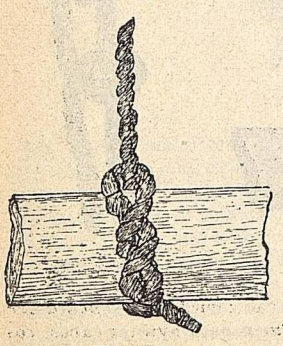


Fig. 354.

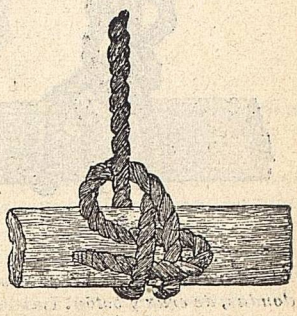


Fig. 355.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Además de los nudos expuestos se hacen con los cabos otros, como son los de *aferrar*, los *embragues* y *tiraviras* para atar objetos y transportarlos Las *cosiduras* para unir cabos, ó á una percha, etc.; las *falcasias* para evitar se descolchen los cabos.

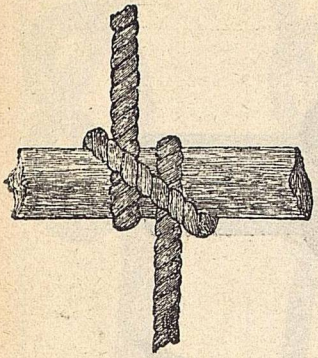


Fig. 356.

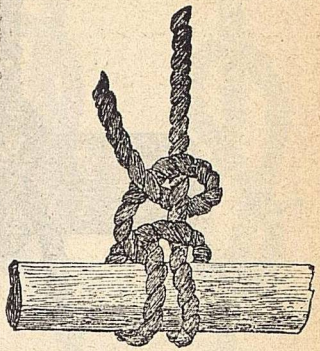


Fig. 357.

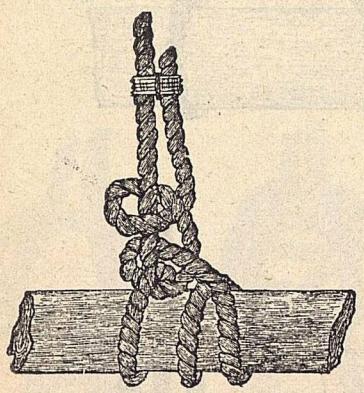


Fig. 358

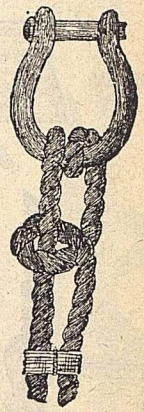


Fig. 359.

Ligaduras para unir dos partes de cabo: pueden ser *sencillas, redondas, de cruz y botón*. Las *costuras* para ayustar cabos, *costuraredonda* (figuras 365 y 366) *costura larga española* (fig. 367);

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el ayuste con *grupos*, á la *sevillana*, etc.; las *piñas*, *sencilla*, *doble*, *de acollador*, *barrilete*, etc., para que no se descolchen ó corran. Las *gazas* ó *empulgueras*, especies de asas, que se hacen como indican las figuras 363 y 364, para un cabo de tres cordones. Hay otros muchos que reciben diversos nombres, según la pieza á que se destinan.

Fig. 360.

Fig. 361.

Fig. 362.

428. *Cables metálicos.*—Están formados por varios alambres; la resistencia es muy grande, pues la del hierro pasado por la hilera es mayor á igualdad de sección que la de una barra.

Mientras el hierro en barra se rompe por un esfuerzo de tracción de 35 á 40 kg. por mm^3, en alambre sólo se rompe (por tracción) bajo una carga de $\sim$ 80 kg.; el acero $\sim$ á los 120 kg. p. mm^2 (como los cables del puente de Brooklin, en New-York). Actualmente se han fabricado alambres que se rompieron bajo un esfuerzo de tracción de 250 kg. p. mm^2 (Felten y Guillaume).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los cables metálicos se hacen de hierro, acero ordinario y acero flexible. El *cordón* consta de 3, 7 á 19 alambres. El *cable* de 3 á 7 cordones.

Cable	de alambre de	hierro, menor de	8 á 203 mm.
»	»	acero »	8 á 203 »
»	»	flexible »	25 á 203 »

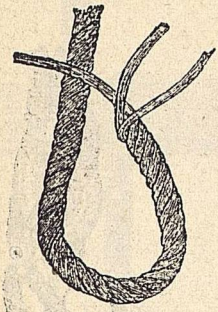


Fig. 363.

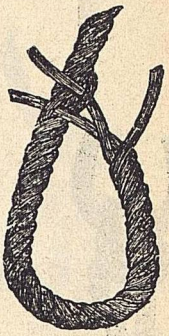


Fig. 364.

429. *Soldaduras.*—En los cables metálicos se sustituyen los nudos por soldaduras. Las más usadas son: para la *gaza ó empulguera*, que se hace como indican las figuras 365 y 366; la *soldadura corta* (figuras 365 y 366), para unir dos cables por los ex-

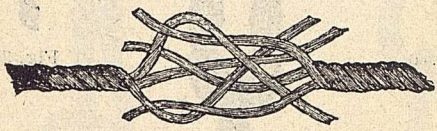


Fig. 365.

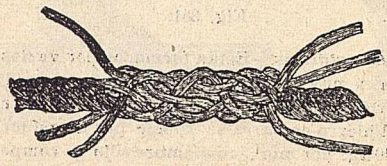


Fig. 366.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tremos ó dos extremos de un cable; y la *soldadura larga* (fig. 367), también para unir dos cables ó los extremos de un cable. Hecho el enlace, se aplica la soldadura, que, si se hace bien, no disminuye la resistencia del cable.

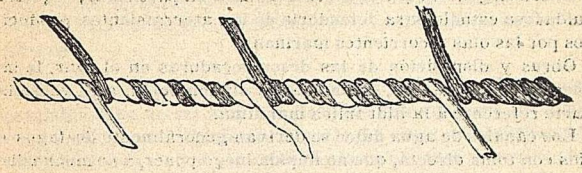


Fig. 367.

B).—Navegación interior.

429. *Navegación interior.*—La fuerza de impulsión de un buque puede expresarse con la fórmula

$$P = K \frac{A v^2}{2 g}$$

en que A = sección de la cuaderna maestra:
v = velocidad en metros por 1";
g = aceleración debida á la gravedad.
K = 0,07 á 0,20 según la forma del buque.

Cuando los buques tienen que recorrer un río muy estrecho ó un canal, la fuerza de impulsión que resulta de las fórmulas debe aumentarse en 2,30, 0,8 ó 0,7 veces, según que la sección del canal sea, 6, 8 ó 12 veces mayor que la manga del buque.

En los canales y ríos navegables, la navegación descendente no ofrece dificultad y el transporte se facilita con la corriente; en la ascendente, á veces, hay que remolcar los buques. La mayor ó menor fuerza para el remolque depende bastante de la velocidad del agua en el canal y de las dimensiones del buque.

Si la velocidad del agua es poca y las dimensiones del barco pequeñas, el remolque puede hacerse á remo. Cuando esto no basta, se emplea la *sirga*, haciéndose el arrastre por medio de hombres, y si no desarrollan la fuerza necesaria, con caballos, mulas ó bueyes.

430. *Canales de navegación.*—Los canales de navegación se dividen en *canales de agua dulce y canales marítimos*. Los pri-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

meros están alimentados por agua, que tienen casi siempre una dirección dada, y la navegación se facilita lo mismo en sentido ascendente que descendente, por medio de obras adecuadas. Los canales marítimos tienen el fondo horizontal; lo mismo la construcción en general que la desembocadura en particular, requiere cuidadoso estudio para defenderlo de los aterramientos producidos por las olas y corrientes marinas.

Obras y disposición de las desembocaduras en el mar, la influencia de las mareas, estanques de alimentación, etc., véase la parte referente á la hidráulica marítima.

Los canales de agua dulce se derivan generalmente de lagos ó ríos con toma directa, que no impida luego poner, á no mucha distancia, un vertedero y aliviaderos de superficie, puesto que la altura del agua se fija con relación al ancho del canal y á los barcos que han de surcarlo.

431. Los canales navegables que unen dos puntos del mismo río se llaman *canales laterales* y tienen la pendiente siempre en el mismo sentido. Si la inclinación del perfil es en dos sentidos, se denominan de *tramo divisorio*, y el perfil del canal es de doble pendiente.

Gasto.—El gasto de un canal navegable debe exceder á las pérdidas de agua por filtración, evaporación y fugas por las compuertas, que pueden variar de 100 á 1.000 metros cúbicos al día, al paso de los barcos por las esclusas. En este último caso, despreciando el volumen de agua desalojado por el barco, y llamando S el área de la sección horizontal de la esclusa, h la altura del salto, m el número de barcos que entran y salen, ó sea $2\ m$ el número total de barcos. El volumen de agua necesario para la entrada ó salida será:

$$V = 2\ m\ S\ h$$

432. Las obras de *toma de agua* de los canales navegables se hacen como en los demás; pero ocurre á veces que las oscilaciones del nivel de agua en el río de que se desvía son demasiado fuertes, y para no someter al barco á estas variaciones, cuando el cauce del río está regularizado, se construyen presas móviles ó de altura variable; de éstas existen muchos modelos.

Las primeras presas consisten en dobles ó triples filas de pilotes, convenientemente encepados y formando caja para colocar los tablones ó compuertas de cierre. Este sistema se ha modificado en Francia, sustituyendo los pilotes por pilas de fábrica, aumentando los intervalos y el espesor de las vigas transversales, recibiendo el nombre de presas marineras. Thinard ha ideado

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

otro tipo de presas, con compuertas de charnela que giran alrededor de un eje horizontal colocado en la parte inferior. El tipo de Chauviere, de puertas, con gorrón que gira sobre un eje horizontal puesto en la parte superior. La de Poirier, cuyas hojas giran sobre un eje vertical; la de Desfontaines, cuyas compuertas se elevan ó bajan utilizando la misma fuerza del río para moverlas, etcétera.

433. Los *aliviaderos*, vertederos ó reguladores en los canales navegables han de ser muy amplios; los desaguaderos de fondo deben tener el umbral inferior al suelo del canal, destinándolos al doble uso de regular la altura del agua en el canal y servir para arrastrar y limpiar el fondo de los sedimentos en las crecidas.

434. En los canales de navegación no pueden establecerse *sifones*, porque interrumpen la navegación y habría que recurrir al transbordo de las mercancías ó al transporte de las naves, cosa prácticamente imposible para barcos grandes, ó, por lo menos, lleno de inconvenientes. Por esto se sustituyen los sifones por *acueductos* ó *puentes canales*.

El cruce en el río mismo consiste en conducir el agua del canal al río y derivarla en la orilla opuesta. Este cruce se hace con una presa transversal, lo mismo que si se tratase de establecer una nueva presa.

Los acueductos navegables se construyen con gran resistencia, teniendo siempre en cuenta el peso que han de sufrir, y el empuje hidráulico sobre las paredes del canal.

Recientemente se han hecho estudios sobre la aplicación de los puentes colgantes; Perdoni ha escrito una monografía acerca de este asunto, con objeto de probar el gran partido que se puede sacar de estos puentes en las construcciones hidráulicas, ocupándose á la vez en los detalles de construcción.

435. Los pasos inferiores hay que evitarlos en los canales de navegación, porque la arboladura de los barcos y la carga obligaría á construir estos pasos muy elevados, y aun así no siempre sería posible el paso. Para evitar estos inconvenientes se recurre á los puentes giratorios, que son puentes ordinarios, generalmente de tramos metálicos, que giran todo ó en parte sobre un eje, fijo en un estribro ó una pila.

436. *Esclusas.*—Las *esclusas* son obras dedicadas á la navegación y tienen un triple objeto: 1.º Disminuir la pendiente de un canal, acumulándola en un sitio para hacer más fácil la navegación. 2.º Hacer posible el paso de los barcos en los puntos donde

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el agua forma un salto. 3.º Conservar el agua á una cierta altura para facilitar la navegación por el canal en el estiaje.

Las *esclusas* consisten (fig. 368) en dos presas *A B*, provistas de puertas.

Para dar salida á un barco que viene del tramo superior, se cierran las puertas de aguas abajo; el agua se eleva hasta el nivel del tramo superior y se introduce la nave en la esclusa ó *cuenco*. Entonces se abre una compuerta fija situada en la parte inferior de las puertas de la esclusa, y el agua del cuenco se descarga hasta alcanzar el nivel del tramo inferior, bastando abrir las

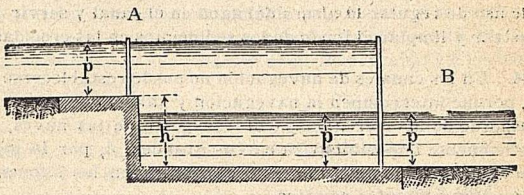


Fig. 368.

puertas para que el barco siga su camino. Desde luego se comprende cómo ha de hacerse la maniobra para elevar un barco del tramo inferior al superior. Las dimensiones de las esclusas deben ser poco mayores que las del barco mayor que haya de circular para reducir al mínimum el consumo de agua y la pérdida de tiempo, evitando las grandes esclusas para dar paso á varios barcos á la vez.

Nunca deben ponerse dos esclusas juntas.

437. *Curvas.*—En los canales de navegación, las curvas tienen que guardar relación con los barcos que los surcan; llamando *l* la *semieslora* del barco mayor, *a* la manga, *d* el ancho del canal y *R* el radio de la orilla interior en curva, el radio mínimo que se debe adoptar se deduce de la

$$R = \frac{l^2 + a^2 - d^2}{2\,(d - a)}.$$

438. *Caminos de sirga.*—Los canales navegables están flanqueados por un camino llamado *de sirga*, y sirve para remolcar los barcos, marchando por ellos los hombres ó animales que hagan el remolque; el ancho del camino varía con la importancia del canal.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

439. *Canales marítimos.*—Datos sobre los más importantes:

Canal de Suez (entre el Mediterráneo y el Mar Rojo).

Longitud	160	km.
Ancho	36 á 100	m.
Profundidad	8,0	m.

Puertos á la entrada y salida: Port-Said, Suez.

Canal de Corinto.

Longitud	6,5	km.
Ancho	21 á 25	m.
Profundidad	8,0	m.

Puertos á la entrada y salida: Poseidonia, Isthmia.

Canal del Elba ó del Emperador Guillermo
(entre el mar Báltico y el mar del Norte).

Longitud	98 km.
Ancho al nivel del agua	58 m.
Idem íd. en la solera	22 m.
Profundidad	9 m.

Esclusas de 150 metros de cuenco por 25 de ancho.
Puerto á la salida: Kiel.
Entrada por el río Elba.

Canal de Manchester á Liverpool.

Longitud	5,8	km.
Ancho	52	m.
Profundidad	7,9	m.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Parte quinta.

§ 1.—Utilización de la energía hidráulica.

440. *Fuerza de un salto de agua.*

$$F = \frac{1000\ Q\ H}{75} \qquad F_1 = \varphi\ F$$

F = fuerza absoluta en caballos de vapor.
Q = gasto en metros cúbicos por 1".
H = altura del salto entre los dos niveles de agua.
F_1 = fuerza efectiva en caballos.
φ = coeficiente de efecto útil.

La energía hidráulica ha adquirido una importancia considerable en la industria, especialmente para la producción y transporte de energía eléctrica.

En todo proyecto de utilización de energía hidráulica, es necesario conocer:

1.º El volumen de agua disponible por 1" y la duración de los períodos de crecidas, aguas normales y estiaje. Para determinarlo se practican aforos (véase).

2.º La altura de caída ó *salto*, es decir, la diferencia, entre los niveles del agua, aguas arriba y aguas abajo del punto donde se ha de montar la turbina, rueda, etc.

3.º Variaciones del nivel, aguas arriba y aguas abajo y duración de cada estado del agua.

4.º La naturaleza del agua y de los materiales que lleva en suspensión, y el coeficiente limométrico.

5.º Un plano exacto de la localidad con la disposición de los canales de llegada y de descarga.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para la elección del tipo de turbina hay que conocer, además:

6.° El género de industria á que se ha de aplicar la fuerza.

7.° La altura de la transmisión principal sobre el nivel del canal de llegada y el número de revoluciones.

8.° El sentido en que debe girar la turbina y el número de caballos que se desea obtener cuando no haya de utilizarse toda la fuerza disponible.

441. *Canales industriales.*—Sirven para ellos las reglas dadas al tratar de los canales de riego (véase § 3.°, parte III).

La pendiente del canal de llegada varía generalmente entre 0,0004 metros y 0,0005 metros; la del canal de descarga, de 0,001 metros á 0,002. La sección se calcula sobre la base de la máxima economía. En el caso de canales en galería, la sección más conveniente para gastos pequeños es la rectangular: para gastos gran-

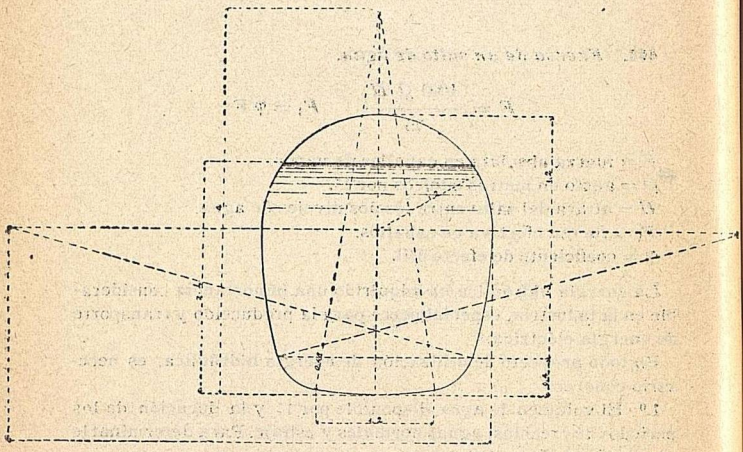


Fig. 369.

des se usa comúnmente una sección curva, análoga á la representado en la figura 369.

Las obras de toma y las de fábrica y de arte son análogas á las indicadas para los canales de riego (véase parte III, § 3).

442. *Casos de máquinas.*

Instalaciones pequeñas.—El edificio puede estar colocado sobre el canal ó lateralmente. Consta, generalmente, de una ó dos

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cámaras, y dos pisos separados por una bóveda (figuras 370 y 371).

En una de las cámaras se instalan las turbinas, en otra los aparatos de transmisión. Aguas arriba del edificio debe ponerse un vertedero ó aliviadero de superficie, calculado por la fórmula usual de los vertederos $Q = \mu L H \sqrt{2gH}$.

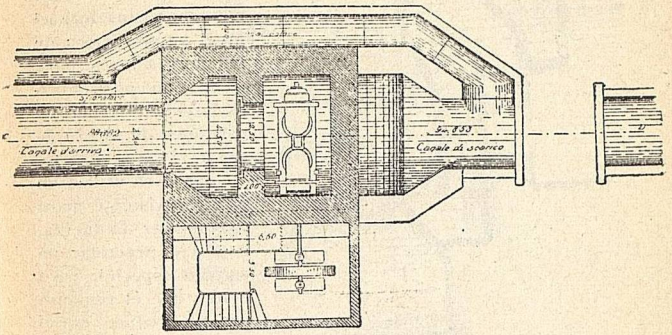


Fig. 370.

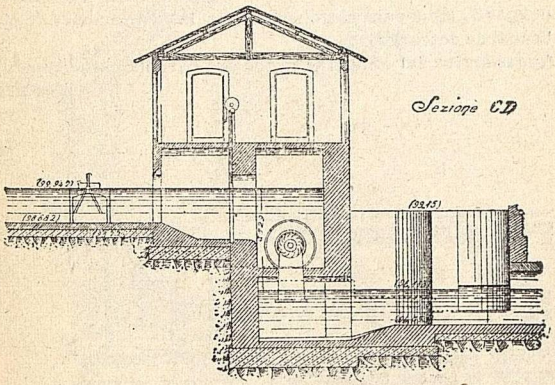


Fig. 371.

Es muy conveniente para un aliviadero automático, de sifón, que funciona de un modo análogo al descripto en el núm. 258; lleva un cebador y un interruptor, que impide que el agua se eleve mucho

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sobre la base superior del sifón y también suspende el cebo cuando el nivel desciende por debajo de la boca. La figura 372 representa el sifón autonivelador del ingeniero Gtegotti (Mortara); funciona sencillamente y conserva constante el nivel.

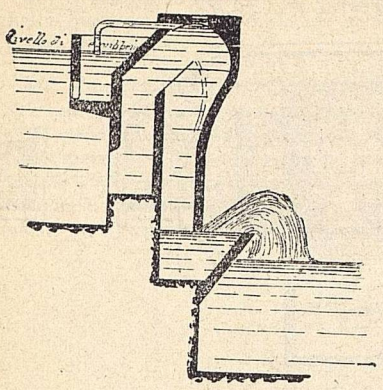


Fig. 372.

Estos sifones tienen buena aplicación para mantener constante el nivel aguas arriba de las derivaciones para riegos, que por contrato hayan de tener un mínimo de altura de carga.

Cuando se utiliza un canal existente para aprovechar la fuerza, hay que practicar un estudio especial, para evitar que el remanso que se produce en el canal, perjudique á los terrenos inmediatos, así como impedir que las tomas de agua para riego sufran por las variaciones de nivel del canal de descarga.

Aguas arriba del edificio se coloca una parrilla para detener los

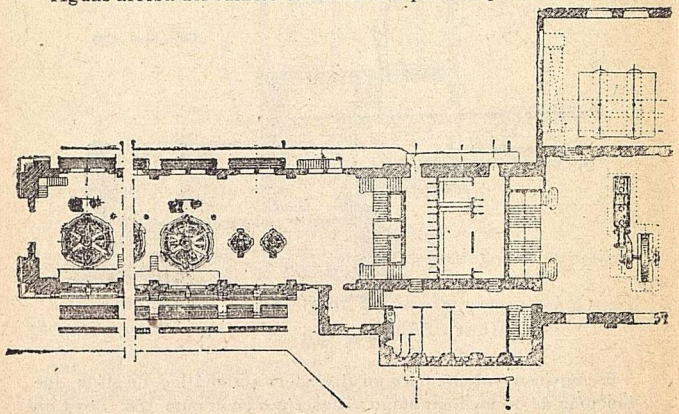
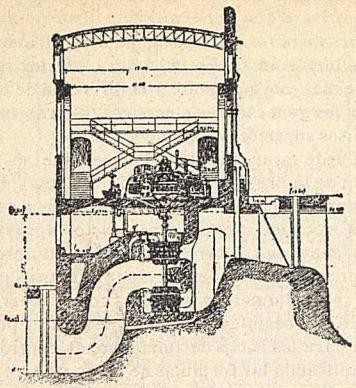


Fig. 373.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Fig. 374.



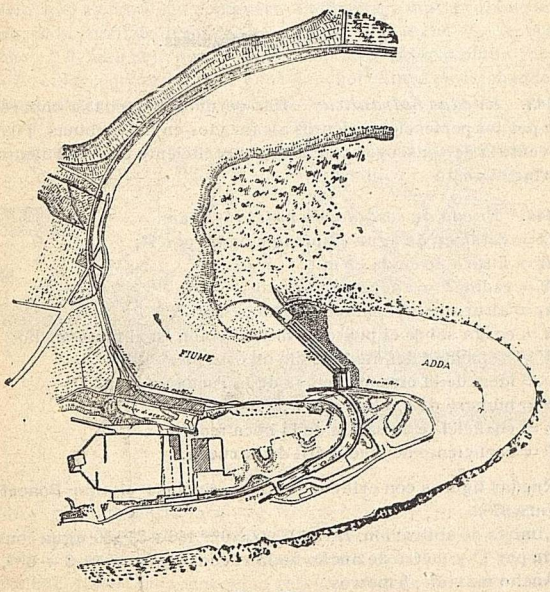


Fig. 375.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

brazos y algunos materiales de los que llevan en suspensión las aguas. Se construyen de hierro fundido ó forjado y también de cemento armado.

Instalaciones grandes.—Ofrecen una disposición análoga, pero de mucha más importancia. En la cámara inferior se disponen las turbinas, alineadas, normalmente á la dirección de la corriente, y enlazadas con los generadores eléctricos, ú otras máquinas montadas en los pisos superiores (fig. 373 y 374.)

El edificio puede estar adosado al río en que se hace la toma, y aguas arriba de la presa; entonces no hay canal de conducción.

A veces se aprovechan las vueltas é inflexiones del río para represar el agua y con un canal ó túnel corto, aprovechar el salto (figura 372). El canal de conducción puede sustituirse, á veces por una cañería forzada, calculada con las fórmulas usuales, teniendo en cuenta que para diámetros grandes, como ocurre en general, el coeficiente K de rozamiento es muy pequeño y puede suponerse $= 0{,}001$ aun para los tubos de fundición, al contrario de lo que se obtendría aplicando las fórmulas de Levy y Darcy.

§ 2.—**Máquinas hidráulicas.**

443. *Ruedas hidráulicas.*—Han perdido casi toda su importancia por los perfeccionamientos alcanzados en las turbinas. Tienen la ventaja de conservar constante el coeficiente de rendimiento al variar el gasto.

444. *Rueda de costado, de paleta.*—Sean:

Q = volumen de agua disponible en m³ por 1";
H = altura de caída en m ;
R = radio: b = ancho de la rueda;
a_1 = altura: b_1 = ancho del orificio motor;
h = carga sobre el punto de introducción en el filete medio;
V = velocidad del filete medio en este punto;
v = ídem de la circunferencia de la rueda en m. p. 1";
n = número de vueltas por 1';
μ = coeficiente de salida de la boca motriz;
φ = coeficiente de efecto útil de la rueda.

Ruedas ligeras con orificio de carga (incluso el tipo Poncelet) (figura 376).

Límites de aplicación; $H \leqq 3^{m3}$; $Q = 0^{m3},150 \div 3^{m3},50$; agua consumida por 1" y metro de ancho de la rueda $= Q/b = 0^{m3},3 \div 0^{m3},9$.

Ancho máximo, 5 metros.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Q depende del juego entre las paletas y el saetín (generalmente $4 \div 8^{mm}$); su valor medio por cada mm. de juego se deduce de la tabla siguiente:

$b = 0^m,5$			$b = 1^m$			$b = 2^m \div 4^m$			H
$Q/b =$			$Q/b =$			$Q/b =$			
0,300	0,450	0,900	0,300	0.450	0,900	0,300	0,450	0,900	
0,019	0,015	0.013	0,014	0,010	0,008	0,012	0,008	0,005	1 m
0,923	0,016	0,014	0,017	0,012	0,009	0,015	0,010	0,006	2 m
0,026	0,017	0,015	0,020	0,013	0,010	0,017	0,011	0,007	3 m

Trazados los niveles de llegada y descarga, se pone el punto más bajo de la rueda á una profundidad h_0 bajo el nivel de descarga, ó sea el centro de la rueda á una altura $r = R - h_0$ sobre este nivel; después se dibuja el perfil del saetín, enlazándolo con el orificio, que se hará con compuerta inclinada y muy próximo á la rueda. Si el canal de descarga se conserva del ancho b_0, se pone el fondo á h_0 más bajo que el saetín, con un escalón ó plano inclinado de enlace; otras veces se pone á menor altura ensanchándole hasta alcanzar una sección $= 2\ b\ h_0$.

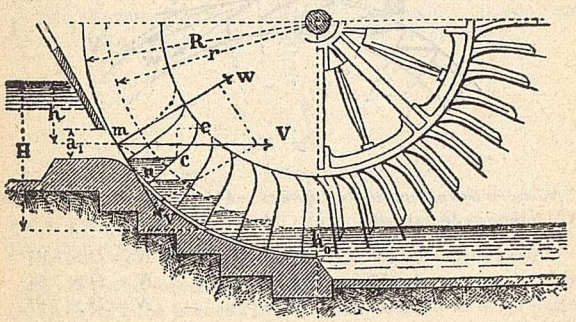


Fig. 376.

Por el punto de entrada m (fig. 376) del filete medio se traza $m\ V = V$ tangente al filete medio (concéntrico con la curva de enlace) y $m\ v = v$, tangente á la rueda; completando el paralelógramo se obtiene $m\ w = w =$ velocidad relativa. Tangente á $m\ w$ se traza el perfil de la paleta rectilínea ó ligeramente encorvado: su

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

longitud mínima se obtiene llevando verticalmente $m\,p = \frac{w^2}{2g}$ y trazando por p una horizontal hasta que encuentre al perfil de la paleta. Distancia entre las paletas, $0^m,30 \div 0^m,40$.

$$\varphi = 0,65 \div 0,70 \qquad n = \frac{60\,v}{2\,\pi\,R}$$

445. *Rueda superior de cajones* (fig. 377).

Abertura de los cajones.—Por cada metro cúbico de capacidad de los cajones, se asigna una abertura de un metro cuadrado. En las ruedas que reciben el agua lateralmente, debajo de los apoyos, se da al cajón $0^{m2},65$ por cada metro cúbico de capacidad. Generalmente el ancho de la abertura se hace de $0^m,15 \div 0^m,20$ en las primeras, y de $0^m,17 \div 0^m,30$ en las segundas. La altura de la corona, de $0^m,30$ y $0^m,40$ respectivamente.

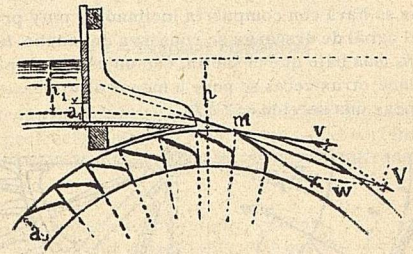


Fig. 377.

Número aproximado de cajones.—D = diámetro de la rueda; N = número de cajones.

Para ruedas de $3^m,5 \div 7^m,5$ de diámetro $N = D \times 6,88$
" " de $7^m,5 \div 12^m,0$ de " $N = D \times 7,54$
" " de $12^m,0 \div 15^m,0$ de " $N = D \times 7,87$

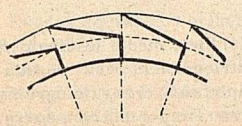


Fig. 378.

Forma de los cajones (fig. 378.)

D = altura de la corona.

d = distancia entre los cajones medida en la circunferencia exterior.

l = longitud del lado de la embocadura en la ídem, íd.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

S = ídem, del fondo según el radio

Cajones de dos lados.

$D = d$; $S = \frac{1}{2} D$; $l = 1 \frac{1}{4} D$ en las ruedas grandes $l - D$ en las ruedas de diámetros $< 7^m,50$.

Cajones de tres lados (fig. 379.)

Se divide D en tres partes iguales.

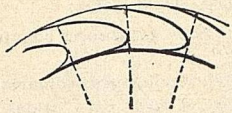


Fig. 379.

a = ancho del lado de enmedio medido en la circunferencia exterior.

$D = d$; $S = \frac{1}{3} D\, a = \frac{1}{4} D\, l = D$ en las ruedas grandes; $l = \frac{3}{4} D$ en las ruedas de diámetro $< 7^m,5$.

Diámetro del eje de las ruedas hidráulicas.—Si la rueda tiene una corona de entrada, se calcula el eje (con los gorrones) por flexión para la carga de la rueda, repartida entre las dos armaduras; en caso contrario, se calcula para la flexión y tensión simultáneas, ó bien siendo r el radio del eje, con la fórmula

$$r = 80 \sqrt[3]{\frac{F_1}{n}}$$

F_1 = fuerza efectiva; n = número de vueltas.

Armadura. Ancho de los radios = h; empotramiento de los radios = $2\,h \div 2,5\,h$. Espesor del cubo = $50 + 0,70\,r$; longitud del cubo $2,4\,r \div 3\,r$; $\varphi = 0,70 \div 0,80$ y crece al aumentar H.

446. *Ruedas sumergidas en una corriente.*—Velocidad en la circunferencia de la rueda = 0,4 de la velocidad de la corriente.

El diámetro de la rueda se hace generalmente de $3^m,60 \div 4^m,60$ y el número de paletas de $9 \div 11$. Inclinación de las paletas sobre el radio de las ruedas $25^0 \div 30^0$. Altura de las paletas de $0^m,60 \div 0^m,76$. Inmersión de las mismas, de $0^m,30 \div 0^m,38$. No deben sumergirse en la corriente menos de dos paletas á la vez.

V = velocidad de la corriente en metro por 1".

v = velocidad media de la paleta en metro por 1".

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

A = área de la superficie sumergida de las paletas en metros cuadrados.

F = fuerza en caballos día.

$$F = 1{,}064\ V A\ v\ (V - v).$$

Turbinas.—Son las máquinas hidráulicas que dan el mayor rendimiento. La conveniencia de emplear un sistema ú otro depende de muchos elementos en las condiciones especiales. En general, pueden admitirse el criterio siguiente:

1.° *Para gastos y saltos constantes* convienen las turbinas de acción.

a) Tipo helicoidal en condiciones ordinarias.

b) Cilíndrica de eje vertical para caídas pequeñas y gastos grandes.

c) Cilíndrica de eje horizontal para gastos pequeños y caídas grandes.

2.° *Para caída constante y gasto variable,* turbinas de acción provistas de sistemas oportunos de obturación.

3.° *Para gasto constante y caída variable,* turbinas de reacción, y para saltos pequeños, variables, turbinas hidropneumáticas ó de sifón.

4.° *Para gastos y caídas variables* convienen las turbinas Girard, á las que puede aplicarse un obturador sin disminuir el coeficiente de rendimiento.

5.° *Para gastos variables muy grandes* conviene instalar dos turbinas para una caída media: una de reacción para el gasto mínimo y otra de acción para el gasto igual á la diferencia entre el máximo y mínimo, y provista esta última de obturadores.

6.° *Para saltos poco variables y muy grandes* convienen las ruedas Pelton.

447. *Turbinas de acción axial, sistema Girard.*—Aplicables para saltos constantes ó casi constantes $>$ 2 metros, con un gasto cualquiera y variable. Pueden ser completas ó parciales; admisión por tubo (fig. 380) ó directa en la cámara (fig 381).

Efecto útil.—Turbina completa: $\eta = 0{,}75 \div 0{,}80$. Turbina parcial ó completa cuando trabaje con el obturador abierto en parte, para volúmenes menores del normal.

Arco abierto.	1/2	1/3	1/4	1/8	1/10 perif.
η	0,72 ÷ 0,75	0,69 ÷ 0,73	0,63 ÷ 0,70	0,60 ÷ 0,65	0,55 ÷ 0,60

Pérdida de efecto por *ahogarse* la turbina completa $= \sim 10$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

por 100; si la turbina es parcial ó está obturada parcialmente, esta pérdida es mayor, y aumenta al crecer el grado de parcialidad.

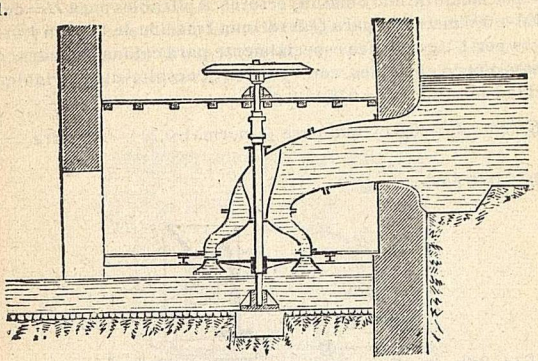


Fig. 380

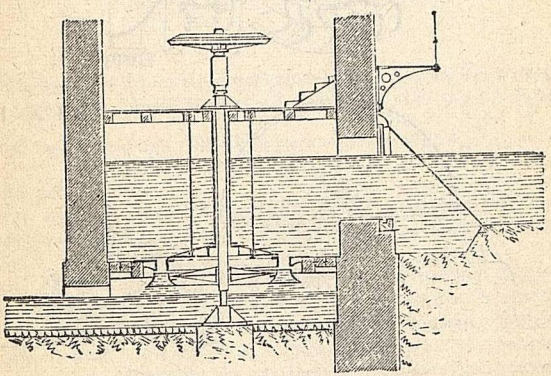


Fig. 381.

449. *Turbinas de acción, radiales.*—En ellas afluye el agua en planos perpendiculares al eje:

a) *Turbinas completas,* en que el agua se conduce debajo por medio de un tubo.

b). *Turbinas parciales, tipo Girard.*—Aplicables para gastos pequeños y medios, con saltos grandes (fig. 382).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

449. *Turbinas tangenciales.—Ruedas Pelton* (fig. 383).

De eje horizontal.—Reciben el agua en dirección casi tangencial por medio de uno ó más inyectores. Aplicables para $H =$ de $6 \div 8$ á $400 \div 500$ metros y para Q desde una fracción de litros á $400 \div 500$ litros por 1"; convienen especialmente para caídas grandes, constantes ó poco variables, con volumen generalmente variable. Velocidad de salida $V = 0{,}95 \sqrt{2\,g\,H}$.

Efecto útil.—0,80 y más para Q normal; $0{,}72 \div 0{,}75$ para $\frac{1}{2} Q$; $0{,}60 \div 0{,}65$ para $\frac{1}{4} Q$.

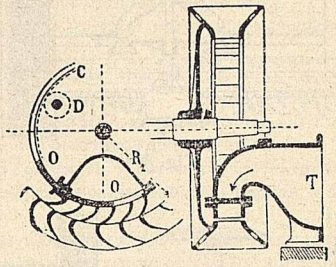


Fig. 382.

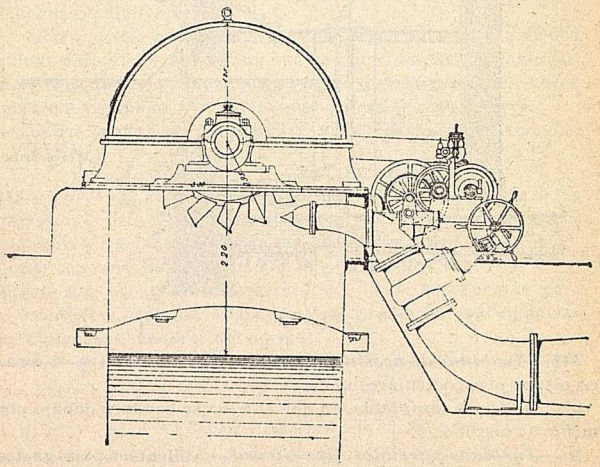


Fig. 383

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

450. *Turbinas de reacción.*

a) Turbina radial centripeta, tipo francés.—Entrada forzada, por medio de un tubo abductor, á una caja que rodea al distributor ó bien libre con cámara de agua (fig. 384) y tubo de aspiración por debajo de la rueda móvil. Aplicable para gastos cualquiera y caídas no muy pequeñas; convienen para caídas variables á causa del tubo de aspiracion.

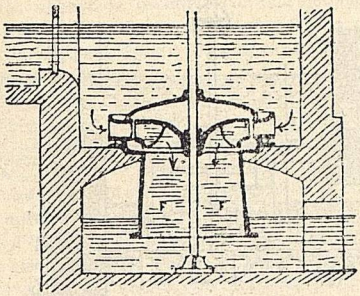


Fig. 384.

Efecto útil.—En los tipos más modernos y con un buen sistema de regulación, puede llegarse á $\eta = 0{,}80 \div 0{,}85$ con Q normal; $0{,}75 \div 0{,}80$; $0{,}60 \div 0{,}65$, $0.30 \div 0{,}40$ para volúmenes de $^3/_4$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ del Q normal.

b) Turbina radial centrifuga, tipo Fourneyron.—El distribuidor está en el interior y la rueda al exterior. Se aplican raras veces.

c) Turbina de reacción, axiales, tipo Jonval (fig. 385).—Entrada forzada ó libre como en el número precedente. Eje vertical ú horizontal. Tubo de aspiración como en el número precedente.

Efecto útil. – $\eta = 0{,}70 \div 0{,}75$. Para volúmenes $<$ de Q normal y con obturador al pie del tubo de aspiración, η decrece rápidamente hasta ser $0{,}30 \div 0{,}40$ para $\frac{1}{2} Q$; si la regulación se hace con el distributor η decrece más despacio, llegando á valer $0{,}55 \div 0{,}60$ para $\frac{1}{2} Q$ y $0{,}30 \div 40$ para $\frac{1}{4} Q$.

Turbina hidro-pneumática ó de sifón (fig. 336).—Para niveles de descarga bastante variables, sobre todo con pequeñas H, se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

puede *hidro-pneumatizar* la turbina, y por consiguiente evitar se anegue, comprimiendo el aire en una cámara bajo el distributor de modo que descienda el nivel del agua de descarga hasta debajo de la rueda. Para alturas muy pequeñas de *H*, conviene también introducir el agua con un tubo en sifón, y, por consiguiente, tener una carga de agua suficiente en la embocadura del tubo.

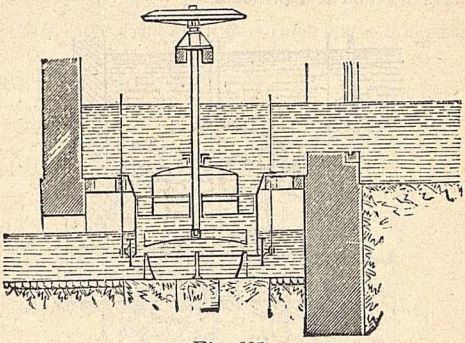


Fig. 385.

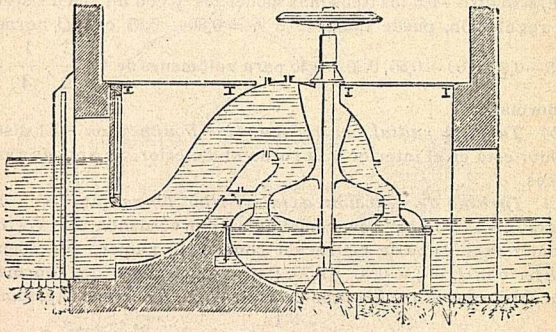


Fig. 386.

451. *Regulación.*—Se hace con reguladores centrífugos, que actúen de ordinarinario sobre un servomotor á presión de agua ó aceite, ó sobre otro mecanismo, ó grupo de poleas, etc., movidas por la turbina misma, los cuales á su vez actúan sobre el sistema de obturación. Los servomotores mecánicos son poco seguros, es-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

pecialmente para turbinas de gran potencia y deben evitarse cuando las variaciones de carga son bruscas y fuertes, resultando entonces preferibles los servomotores hidráulicos. Para éstos la presión del líquido se obtiene directamente, empleando agua cuando la caída es bastante grande; de otro modo se usa agua ó aceite por medio de acumuladores.

Con estos reguladores puede conseguirse que la velocidad no varíe más de un $3 \div 4$ por 100 para una variación de carga, mitad de la normal. En el caso de turbinas con una conducción larga, conviene poner antes del distributor, una válvula de descarga (válvula sin crónica) para evitar los golpes de ariete cuando se cierra ó se reduce la admisión.

452. *Detalles de construcción.*

Directrices y paletas, corona, radios.—Directrices y paletas de fundición, bronce ó palastro; espesor según el tipo y tamaño de la turbina y el sistema de obturación. Espesor de la corona: distributor, $12 \div 18$ milímetros; ruedo, $16 \div 30$ centímetros desde los valores pequeños á los grandes de b_0 y de R (o R_1 para turbinas radiales. Radios en número de 4 á $6 \div$ el ancho en el cubo $= \sim D$; espesor, $= 0{,}20 \div 0{,}25$ del ancho, con nervios; para turbinas pequeñas y medias se usa también, en vez de radios, un disco, lleno ó no y con ó sin nervios. Espesor del cubo $= 60 + 0{,}35\ D$ milímetros.

453. *Recepción de las turbinas.*—Debe proceder un examen detenido que asegure está construído el motor según las condiciones establecidas; después de esto se pasa á medir la energía en el eje para deducir el coeficiente de rendimiento. Para esto es necesario disponer las cosas de modo que haya un medio para hacer variar el gasto, por ejemplo un *aliviadero*, antes del salto, ó una compuerta en la toma de aguas. Además conviene medir la cantidad de agua que entra, por ejemplo, con un orificio y la altura del salto, desde el nivel superior al inferior; esto puede hacerse con dos hidrómetros, cuya situación esté bien determinada por una nivelación exacta. Hecho esto se efectúan diversos experimentos, variando el gasto y calculando en cada caso la fuerza sobre el eje.

Para la medida de la fuerza se usa generalmente el freno dinamométrico, y se procede como sigue:

Establecido el número n de vueltas por 1' á que se deben hacer los ensayos, se aprieta el freno hasta que la velocidad del eje esté reducida á n vueltas. Entonces se aplica un peso P al platillo de la palanca para establecer el equilibrio. En los ejes horizonta-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

les se equilibra la palanca con un contrapeso. Si g es el peso del platillo y accesorios y L la longitud de la palanca, se tiene:

$$F_e = 0{,}0013963\ n\ L\ (P + g).$$

Diámetro de la polea del freno no debe ser $< 0^m{,}60$.

454. *Otros tipos de motores hidráulicos.*—Además de los motores explicados hay otras máquinas para utilizar la fuerza del agua.

Los *sistemas* adoptados en lugares especiales, como en los puertos de mar, cuando se necesita mucha fuerza, durante un tiempo muy corto y se dispone de poca agua, consisten en emplear poca fuerza para elevar agua á un depósito, á la altura conveniente, y usarla después para mover turbinas poderosas durante poco tiempo.

La *noria* es una máquina de elevar aguas; se usa en casos especiales, es de movimiento lento. El reloj hidráulico, tipo Perdoni, es un ejemplo.

El motor Huelgoot se usa para utilizar la fuerza de las conducciones forzadas, cuando el precio del agua lo consiente; salvo en casos excepcionales, no conviene el empleo de las conducciones forzadas como fuerza motriz. Este motor funciona como el émbolo de una de vapor.

El agua se usa para comprimir el aire dentro de ciertas campanas, donde se eleva por la propia presión. Hay varios tipos de estos compresores. También se usa directamente para mover ciertos tipos de ventiladores en casas y fábricas.

455. *Prensas hidráulicas.*—La *prensa hidráulica* es la más poderosa de las máquinas hidráulicas, pudiéndose ejercer con ella esfuerzos que exigen miles de atmósferas de presión. Generalmente se compone de una bomba de poco diámetro que comprime el agua en una campana ó depósito, donde un émbolo, provisto de guarniciones de cuero, de calidad inmejorable, se mueve recorriendo la campana, que es el cuerpo de la prensa. El rozamiento de los collares es 1 por 100 de la presión total en las prensas pequeñas y el 0,50 por 100 en las grandes.

Sea P la presión en kilogramos que ha de ejercer; n la presión interior en atmósfera; D, d, diámetros de la campana y bomba; p = fuerza en kilogramos aplicada al émbolo; v = velocidad del émbolo ($0^m{,}15 \div 0^m{,}30$), se tiene:

$$P = 10000\ d^2\ n$$

$$F = \text{fuerza necesaria en caballos} = \frac{p\ v}{150}$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

$$P = 6500\, n\, D^2$$

S espesor de las paredes de los tubos y cilindros; R = coeficiente de resistencia,

$$\frac{S}{D} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{R+c}{R-c}} - 1\right)$$

Para la bomba se sustituye el diámetro D por el d y análogamente para los tubos.

456. *Acumuladores hidráulicos*—Sirven cuando se hace trabajar el agua bajo fuertes presiones, y especialmente si estas presiones se producen artificialmente con medios mecánicos y no por desnivel natural. Se tienen diversos tipos. La figura 387 es un tipo de cilindro fijo y émbolo móvil A; la figura 388, tipo diferencial con émbolo fijo de dos diámetros $A\ A_1$ y cilindro móvil para disminuir el contrapeso en caso de altas presiones. $B\ B_1$ tubos de entrada y salida del agua; C contrapeso. Presiones usuales para instalaciones de máquinas con agua á presión de $35 \div 100$ atmósferas. El diámetro del émbolo no excede de 0,60 metros cúbicos; la altura se determina en función de las condiciones especiales de cada instalación.

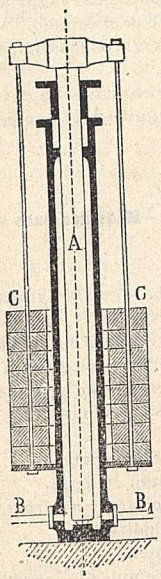


Fig. 387.

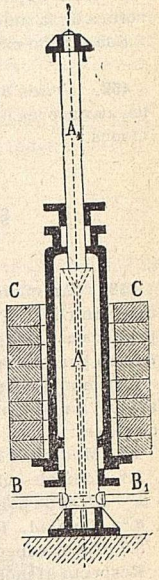


Fig. 388.

Si D (fig. 387) ó $D\ d$ (figura 388) son los diámetros de los émbolos (en metros), n la presión efectiva en atmósferas, P el contrapeso; despreciando el rozamiento, se tiene:

(Fig. 387) $P = 8.100\, n\, D^2$.

(Fig. 388) $P = 8.100\, n\, (D^2 - d)$.

El rozamiento da lugar á la pérdida de $^1/_5 \sim$.

Espesor del cilindro, como para la prensa hidráulica.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Elevadores hidráulicos.—En la actualidad se practican estudios para utilizar la fuerza del mar y para servirse del agua comprimida en los tubos como transmisión de fuerza.

457. *Ascensores hidráulicos.*—Relación entre la cargan eta P, el diámetro D del émbolo y la presión n.

$$\frac{\pi D^2}{4} n = Q + \text{peso propio} + \text{resistencia de rozamiento} + \text{presión debida á la aceleracion.}$$

La velocidad de elevación es de 0,20 ÷ 0,50 metros. El peso muerto se compensa con dos contrapesos para $^3/_4$ del peso, y esto sólo para asegurar la velocidad en el descenso. Este sistema de equilibrar el peso puede dar lugar á accidentes graves en caso de rotura de la unión con el émbolo.

Son mucho más seguros los compensadores hidráulicos.

458. *Grúas hidráulicas.*—Se basan en el mismo principio que los ascensores hidráulicos y sirven especialmente en las fundiciones.

§ 3. —**Máquinas para elevar el agua.**

459. *Clasificación.*—Por la naturaleza de este cuerpo hay que distinguir si el transporte es hacia arriba ó hacia abajo; en el primer caso son necesarias máquinas especiales; en el segundo bastan pozos ó cañerías para guiarla al lugar de empleo.

Las máquinas para elevar agua se pueden clasificar de varios modos; limitándonos á las más esenciales, las dividiremos en cinco clases:

1.ª Máquinas de transporte.
2.ª Idem de columna de agua.
3.ª Idem de compresión y aspiración directa.
4.ª Idem, íd., íd. indirecta.
5.ª Idem especiales.

Respecto al motor empleado, pueden distinguirse así:

a) Máquinas movidas á brazo.
b) Máquinas movidas por animales.
c) Idem íd. especialmente por motores inanimados.
d) Idem de acción directa.

En cuanto al modo de funcionar pueden ser de acción continua ó intermitente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

A).—*Máquinas de transporte.*

460. *Cubo á mano* para transporte á altura $\leqq 1$ metro: un hombre eleva á la altura de 1 metro unos 6 m³ por hora.

Doble cubo con polea.—Para alturas superiores de 1 metro, un hombre eleva 3 m³ por hora; si el doble cubo se mueve con un torno á mano, el trabajo puede llegar hasta 16 m³ por hora; si lo mueve una caballería, pueden elevarse hasta 120 m³ por hora siempre á la altura de 1 metro (1).

Achicador ó pala á mano.—Para alturas < 1 metro puede elevar un hombre 5 m³ por hora. Conviene en casos especiales donde el agua tiene poca profundidad, como en la apertura de canales.

Achicadera holandesa ó pala colgada.—Se mueve de varios modos. Si funciona por oscilación, un hombre eleva con ella unos 8 m.³ por hora; si por inmersión con palanca, unos 10 m³ por hora siempre á la altura de 1 metro.

461. *Rueda de cajones ó cangilones.*—Son ruedas que llevan en la circunferencia cajones ó cangilones, y están movidas por otra fuerza. El gasto Q viene dado por la expresión:

$$Q = \frac{v}{d}\, q\, \eta$$

en la que v = velocidad en la circunferencia; d = distancia de los cangilones; q = capacidad de éstos y η = coeficiente de rendimiento que se admite; vale 0,80 si la elevación es $< R$; y 0,60 ÷ 0,70 si es $> R$; R = radio de la rueda. Detalles de construcción como en las ruedas motrices.

462. *Ruedas de paleta.*—Son ruedas de paletas curvas, que

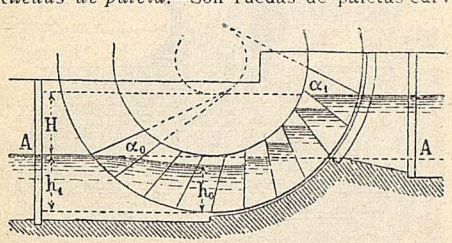


Fig. 389.

(1) Si en vez del torno ó polea se emplea una palanca para mover el cubo, el aparato recibe en algunas regiones de España el nombre de *cigoñal*.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

movidas, por otra fuerza trabajan en sentido contrario á las ruedas motrices. El gasto Q de estas ruedas se expresa por

$$Q = \frac{b\,(2\,R\,v\,h_1 - h_0^2)}{2{,}35\,R}$$

en la que b = ancho de la rueda; R = radio de la misma; v = velocidad en la circunferencia; $h_1 = h_0 - \frac{v^2}{2\,g}$; h_0 = altura del nivel de llegada en el punto más bajo de la rueda.

h_0 puede fijarse entre $0^m,60 \div 1^m,40$.

R no $< 1{,}5\,(h_0 + H)$; H = altura de elevación del agua.

$v = 1^m,50 \div 2$; b se deduce fijando Q: $\eta = 0^m,60 \div 0^m,75$ según que $H = 2^m,50 \div 1^m$; se construyen siguiendo las mismas reglas que las ruedas motrices.

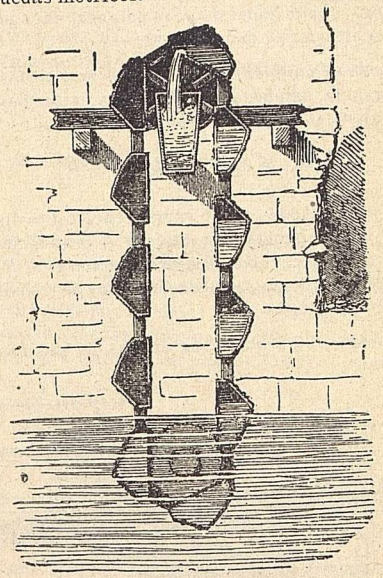


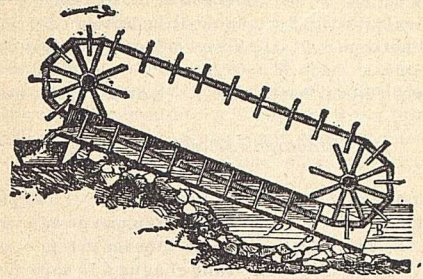
Fig. 390.

463. *Noria.*—Consiste en dos ruedas, una superior y otra inferior, situadas en el mismo plano vertical; sobre ellas está montada una cadena que lleva los *arcaduces* ó *cangilones* (fig. 390). El

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

gasto se deduce como para la rueda de cajones. La capacidad de los arcaduces varía de 7 ÷ 15 litros; velocidad $0^m,70 \div 0^m,80$ por 1". También se construyen de discos ó de paletas y entonces la velocidad puede llegar á $1^m,50$ y más especialmente si está montada como en la figura 391, que representa el llamado *Rosario hidráulico*.

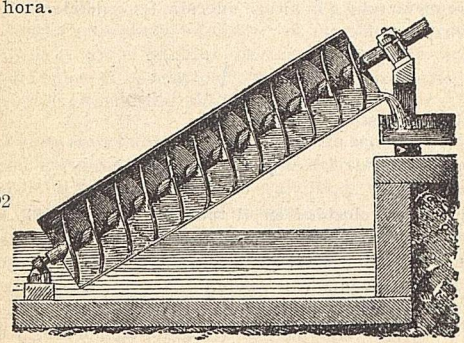
Fig. 391.



464. *Tímpano de Vitrubio.*—Consiste en un gran tambor que exteriormente lleva orificios á los que corresponden tabiques radiales que conducen el agua al eje ó árbol central que es hueco, y por el cual sale.

En Francia y Holanda se ha modificado de diversas maneras. Conviene para elevar grandes cantidades á pequeñas alturas. Un hombre puede elevar con el tímpano unos 10 m^3 á 1 metro de altura en una hora.

Fig. 392



465. *Espiral ó tornillo de Arquimedes.* –Puede considerarse como un tubo dispuesto en hélice y formando sistema con un cilindro sobre el que está montado (fig. 392). No conviene para ele-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

var á menos de 4 metros. La condición para que el agua salga, es que $\alpha < \beta$, donde se tiene para α

$$\text{tang } \alpha = \frac{2 \pi R}{h}$$

siendo α = ángulo de inclinación de la hélice sobre el plano normal al eje del cilindro; β = ángulo de inclinación del eje del cilindro con el horizonte; R = radio del cilindro, h = paso de la hélice; generalmente se hace $R = 0^m,35 \div 0^m,70$: longitud = 36 R. Un hombre puede elevar hasta 12 m³ por hora á 1 metro de altura.

B).—*Máquinas de columna de agua.*

466. *Fuente de Erón.*—Es un sistema de tres recipientes, dos cerrados y uno abierto, en los que la columna de agua que oprime la superficie de nivel del recipiente inferior arroja el aire del de enmedio, y de este modo hace salir el agua á la superficie.

Figura en casi todos los gabinetes de física y sólo se usa para demostraciones científicas: tiene raras aplicaciones en minería.

467. *Ariete hidráulico.*—Consiste en un recipiente de cuyo fondo parte un gran tubo que en el extremo lleva una válvula que se cierra de dentro á fuera. Dicho tubo tiene en la parte superior una válvula que se cierra de fuera á dentro, puesta en una campana cerrada donde el aire comprimido rechaza al agua que entra en ella por un pequeño tubo á la altura querida. La condición del máximo efecto es:

$$V = \frac{4}{5}\sqrt{2 g h}$$

y el límite del gasto q está dado por

$$q = \eta \frac{h Q}{H};$$

en la que V = velocidad en el tubo grande; $g = 9,81$, h = carga sobre el tubo grande; H = altura á que ha de elevarse; η = coeficiente de rendimiento, que varía de $0,50 \div 0,85$, según la altura de H. Fué inventado por Montgolfier y perfeccionados después de varios modos y aplicado bajo el nombre de Ariete de Bellée, de Bonard, de Decoeur, de Douglas, de Durozoi, y también ariete-bomba Durozoi, de Pearsall, de Pilter, de Withehurst.

468. Entre las máquinas de columna se comprenden algunas máquinas especiales; por ejemplo, la de Huelgoat, parecida á una

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bomba, se usa cuando se dispone de fuertes presiones. Una columna que actúa sobre un gran émbolo lo mueve, y de este modo mueve un émbolo pequeño que comprime el agua que hay que elevar. Da un rendimiento grandísimo; pero se gasta pronto por los choques, que ningún sistema de resortes puede vencer.

También pertenecen á este tipo las máquinas de Roux y de Rousenbach. Hay hechos estudios importantísimos sobre las máquinas de columna y sobre las oscilaciones del agua en ellas.

469. *Inyectores.*—En la foronomía (núm. 67) se ha indicado algo sobre la aspiración en los tubos adicionales. Esta propiedad se usa á menudo para elevar el agua cuando se dispone de una masa de ella superior á la que ha de elevarse. La condición de funcionamiento es:

$$h < \frac{3}{4} H$$

siendo h = altura á que ha de elevarse; H = carga.

El principio lo descubrió Venturi aplicado al agua y al vapor, y fué perfeccionado por Pochet, Friedmann, Giffard, Jullemier-Koerting, Manlove, Mazza, Metealfe y Davies, Mortou, Sellers. Merece citarse la bomba Nagel.

C).—*Máquinas de aspiración y compresión directa.*

470. *Bomba aspirante.*—Consiste en un cilindro provisto de válvulas que se abren hacia el interior. En él corre un émbolo con válvulas que se cierran para afuera. Se usa para alturas $<$ 8 metros. Teóricamente, hasta 10,33 metros.

471. *Bomba impelente.*—Las dos válvulas están en el cilindro y el émbolo es cerrado, menos en el caso del sistema *Filadelfia*, que consiste en un sólo émbolo con válvula, y el tubo conductor funciona también como cuerpo de bomba.

Bomba aspirante-impelente.—Difiere de la anterior en la adición de un tubo de aspiración $<$ 8 m.[3]

472. *Bomba de doble efecto.*—Es un sistema de dos bombas en que el movimiento de los émbolos se efectúa á la inversa, es decir, que el uno se eleva cuando el otro baja (fig. 393).

Bomba Charrette.—Es de doble efecto, con un solo cuerpo de bomba, puesto horizontalmente y cerrado en la parte de las válvulas. Cuando comprime en una parte aspira en la otra.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

473. *Bomba circular* (llamada en el comercio Sistema Universal).—Es de doble efecto; el cuerpo de bomba tiene forma de sector circular; los émbolos consisten en dos alas oscilantes con válvulas de charnela (fig. 394). Conviene, para agotamientos de poca importancia y para usos domésticos. Gasto de $1 \div 10$ litros por 1".

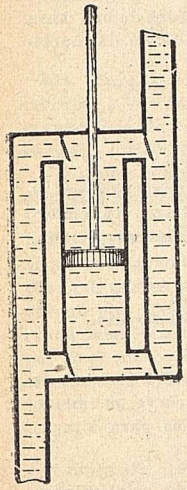


Fig. 393.

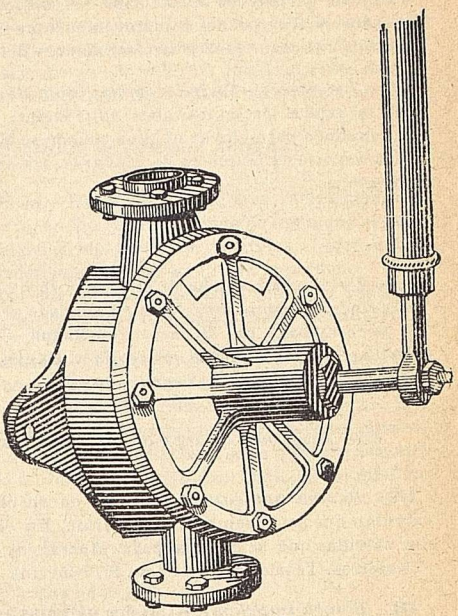


Fig. 394.

474 *Bombas Compoud.*—Están montadas directamente sobre el vástago del émbolo de vapor; la parte central es la caja de aire. Se destina principalmente á la alimentación de las calderas.

475. *Cálculo de las bombas.*—Las bombas se aplican á cualquier altura de elevación H y á cualquier gasto Q m.³ por 1".

Velocidad del émbolo $v = 0{,}15 \div 0{,}30$ metros por 1" á lo más; $0{,}60 \div 0{,}75$ metros para bombas pequeñas y movidas directamente.

Gasto teórico Qt con un émbolo de superficie O, bomba de simple efecto $Qt = \frac{O\,v}{2}$; de doble efecto $Qt = vO$.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Gasto efectivo $= 0{,}80 \div 0{,}90\ Qt$. Por consiguiente fijando v se hace el diámetro del émbolo $D = 1{,}14 \sqrt{0}$. Carrera $S = 1{,}5\ D \div 4\ D$.

Capacidad de la caja de aire para cañerías cortas no $< 4.\ O\ S$ en bombas de simple efecto; no $< 1{,}6.\ O\ S$ para las de doble efecto, y con cañerías larga $< 5.\ O\ S$.

Superficie neta del orificio de las válvulas = á la sección de los tubos. Superficie del paso en las válvulas, de $1 \div 1{,}5$ veces la sección en los tubos.

Peso de las válvulas para una velocidad del agua en ellas de

Velocidad del agua: m. por 1"...	0,60	0,80	1,00	1,25	1,50
Peso de la válvula por cm.².....	0,007	0,012	0,018	0,029	0,042

476. *Bomba Girard* (fig. 395).—En las bombas Girard, las válvulas están solicitadas por un resorte. Hasta unos 300 cm.² de superficie pueden ser sencillas las válvulas. Para mayores superficies se hacen múltiples ó compuestas. Efecto útil, $\eta = 0{,}80$ para bombas Girard: $\eta = 0{,}65 \div 0{,}76$ para bombas ordinarias. Fuerza efectiva $F_e = \dfrac{1000\ Q\ H}{75\ \eta}$ mas la pérdida de carga en los tubos.

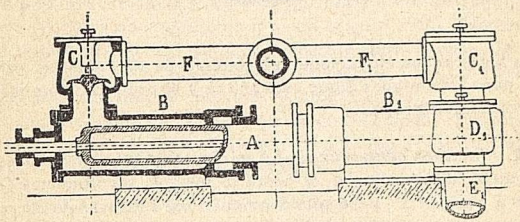


Fig. 395.

477. *Bombas de incendios.*—Se calculan para una altura $H\dfrac{4}{3}$ de la altura del chorro ó surtidor. Capacidad de la caja de aire $= 10\ O\ S$. Se mueven por 8, 16, 24 hombres, produciendo un surtidor de 16, 24, 30, metros con un gasto de 5, 7, á 8 litros.

478. *Bomba rotatoria ó rueda bomba* (fig. 396).—Consiste en una rueda metálica con paletas que giran en una caja cerrada

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

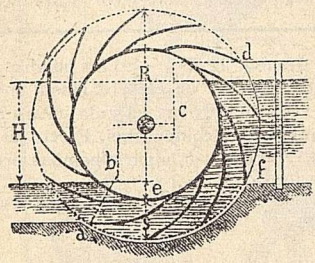
Conviene para elevaciones de 1,50 ÷ 4 metros. Cantidad de agua elevada por metro de ancho de la rueda, 750 ÷ 1.500 litros por 1". Velocidad en la circunferencia $v = 1{,}50 \div 2$ m. Radio $R = 2{,}70$ metros ÷ 4 metros según que la altura á que se eleva sea de 2 ÷ 4 metros resalto radial de las paletas, $s = \frac{1}{4} R$.

Número de paletas, 8 ÷ 12; ancho de la rueda,

$$b = \frac{2{,}35\ Q\ R}{s\ v\ (2 - R\ s)}$$

coeficiente de rendimiento $\eta = 0{,}65 \div 0{,}75$.

Fig. 396.



En las grandes elevaciones el sistema de válvulas de caja no rige para los choques á que está sujeta y se prefieren bombas con válvulas equilibradas.

479. *Bombas centrífugas.*—Aspiran como los ventiladores. Se aplican para elevaciones H hasta 15 metros y volúmenes Q de 4 litros á 4 m³ por 1", pero sólo convienen para alturas de elevación de 6 metros para aguas turbias é instalaciones provisionales. Máxima altura de aspiración, 5 metros; pero es preferible sea $\leqq 3$ metros (figuras 397 y 398).

Se fija la velocidad en el tubo de aspiración y de elevación

$$V = \frac{1}{6} \sqrt{2\ g\ H}$$

de donde el diámetro $d = 1{,}13 \sqrt{\frac{Q}{V}}$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Diámetro de los dos orificios de salida de la bomba... $d_0 = 0{,}7\ d$
— de la periferia interior de las paletas..... $d_1 = 1{,}2\ d_0$
Ancho de las paletas correspondientes..... $b_1 = 0{,}6\ d_1$
Diámetro de la periferia exterior de las paletas..... $d_2 = 2\ d_1$
Ancho de las paletas correspondientes..... $b_2 = 0{,}5\ b_1$
Velocidad en la periferia exterior: $v_2 = 1{,}25 \sqrt{a\ 2\ H}$
Número de vueltas correspondiente, $n = \dfrac{60\ V_2}{\pi\ d_2}$

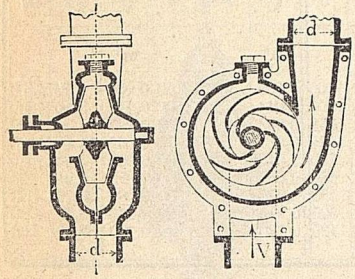


Fig 397.

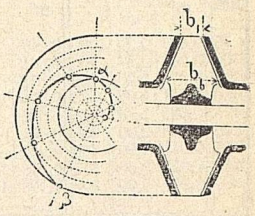


Fig. 398.

Número de paletas, $4 \div 8$ de las pequeñas á las grandes bombas. trazadas según una espiral $\alpha\ \beta$ (fig. 398) que comprende un ángulo de 160°. Una sí y otra no se prolongan hasta el eje ó cubo, y todas ellas pueden encajarse ó dejarse libres entre las dos coronas. De todos modos el juego entre los bordes de la corona ó las paredes y las dos paredes del tambor, no será > 2 milímetros.

Conducto anular alrededor de las paletas con secciones crecientes de $0 \div 0{,}7\ d$, uniéndolo con el diámetro d del tubo de elevación. Si la bomba tiene un solo tubo de aspiración, será

$$d_0 = d; \qquad b_1 = 0{,}3\ d_1.$$

Válvulas de retención al pie del tubo de aspiración.

El tubo de elevación puede dirigirse horizontal ó verticalmente. Exceptuando el caso en que salga horizontalmente del vértice de la rueda, hay que poner siempre en la parte posterior del conducto anular una llave para evacuar el aire durante el cebo ó durante la marcha de la bomba.

Una bomba calculada para un volumen Q con n vueltas puede elevar con n_1 revoluciones un gasto $Q_1 = Q \dfrac{n_1^2}{n^2} \sim$. Fuerza efectiva.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

$$F_e = \frac{13{,}3}{\eta} Q H \qquad \eta = 0{,}60 \div 0{,}65.$$

BOMBAS CENTRÍFUGAS SISTEMA GWYNNE

d	$H = 3_m$			$H = 6_m$			$H = 9_m$			$H = 12_m$		
	Q	Fe	n	Q	Fe	n	Q	Fe	n	Q	Fe	n
mm.	m³			m³			m³			m³		
75	0,004	0,29	1200	0,007	1,00	1700	0,008	1,80	2100	0,009	2,70	2400
100	0,008	0,57	900	0,012	1,73	1300	0,014	3,10	1600	0,017	5,10	1800
125	0,014	1,00	750	0,019	2,70	1050	0,023	4,96	1300	0,027	7,85	1500
150	0,021	1,50	625	0,028	3,86	875	0,035	7,56	1075	0,040	11,60	1225
175	0,025	1,73	525	0 036	4,96	750	0.043	8,90	900	0,051	14,30	1050
200	0,033	2,30	450	0,051	7,00	650	0,062	12,80	800	0,073	20,40	925
225	0,041	2,80	400	0,061	8,05	575	0,075	14,85	700	0,088	23,70	820
250	0,054	3,60	375	0,076	10,00	525	0,095	18,80	650	0,110	28,60	750
300	0,076	5,00	300	0,108	14,20	425	0,130	25,70	525	0,150	39,00	600

Con las bombas centrífugas pueden alcanzarse alturas de 100 metros, montando en serie varias, de modo que cada una aspire del conducto anular de la precedente.

480. *Turbinas hidróforas.*—Las turbinas hidróforas, que tan vastas aplicaciones tienen en la actualidad en las desecaciones, pueden considerarse como bombas centrífugas de eje vertical, que, sin estar provistas en general de tubos, aspiran directamenfe el agua del canal inferior mediante un orificio único de aspiración en forma de embudo y vierten libremente el agua en una cámara superior, desde la que se distribuye por canales á propósito.

D).—*Máquinas especiales.*

481. *Pulsómetros.*—El pulsómetro (fig. 399) es un aparato de invención reciente, y su construcción no ha alcanzado la perfección á que puede aspirar un aparato tan sencillo. Se emplea en muchas industrias, minas, ferrocarriles, etc.

Consiste en un cuerpo metálico que no tiene nombre especial dividido interiormente en cuatro compartimentos (fig. 400) sepa-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

rados por válvulas. La aspiración se efectúa por la condensación del vapor que alternativamente llega á dos de los compartimentos, y la impulsión se produce por el mismo vapor. La aspiración se regula como en las bombas centrífugas; la presión es indeterminada como en las bombas.

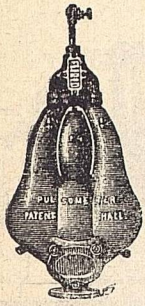


Fig. 399.

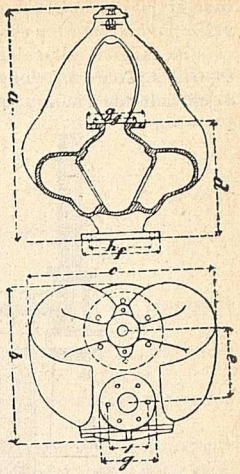


Fig. 400.

TABLA RELATIVA Á LOS MEJORES PULSÓMETROS

Dimensiones en mm.			Rendimiento con vapor de descarga para una altura de 2 ÷ 4 m.	Rendimiento en litro por 1". para una altura permanente de metros.			
Altura *a* fig. 78	Ancho *b* fig. 78	Largo *c* fig. 78		5	10	20	30
430	240	225	30	60	50	35	25
555	275	293	50	100	70	50	40
630	305	335	80	160	125	100	75
745	375	395	120	250	200	160	125
860	390	450	175	350	250	200	150
965	470	535	270	500	400	320	240
1080	512	612	380	600	500	400	300
1175	565	635	510	900	750	600	400
1350	615	725	650	1350	1100	920	700
1580	710	855	980	2000	1600	1250	1000
1600	770	925	1480	2500	2000	1650	1200
1770	850	1060	2200	3500	3100	2450	1800
1827	1100	1260	2900	5000	4500	3300	2500
2310	1520	1740	4700	7000	6000	4500	3100
2425	1410	1930	7500	10000	8200	5000	3500

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

482. *Bomba helicoidal* de Wetmann (fig. 401). — Consiste en un tubo arrollado en hélice sobre un cilindro. Está fundado en un principio hidrostático especial, y la altura á que puede impulsar el agua es igual á la suma de las alturas del agua en las diversas espirales. Como instrumento práctico es conocido con el nombre de elevador de Thierry, que hizo de él aplicaciones agrícolas.

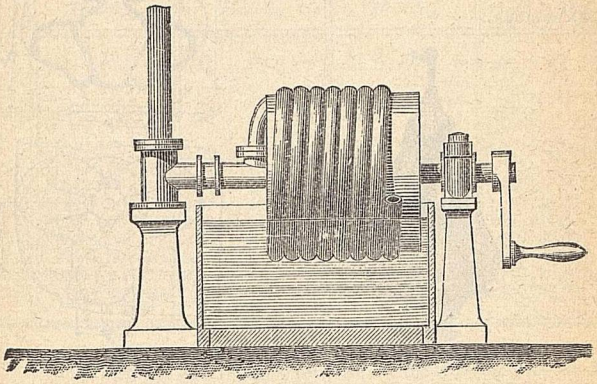


Fig. 401.

483. *Emulsores.*— Estos instrumentos se usan mucho para aguas arenosas; están construídos de modo que al elevarse el aire

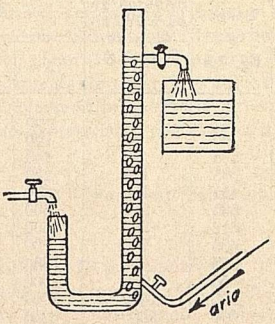


Fig. 402

en un tubo arrastra consigo el agua que se encuentra en él (figura 402). Hay emulsores aspirantes é impelentes. De ellos ha hecho aplicaciones Zambaux. A este género pertenecen también los pul-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sómetros de aire comprimido de Laurent y Kertner. Foucault empleó en vez del aire el gas amoníaco y otros gases. El aparato de Foucault no es más que un pulsómetro, en el cual el calor del sol dilata el gas amoníaco.

484. *Capilaridad.*—Por medio de haces de tubos de cristal pequeñísimos, y por sucesivas elevaciones, pueden subirse pequeñas cantidades de agua. No hay estudios profundos ni aplicaciones importantes.

§ 4.—Cimientos en presencia del agua.

485. *Ataguías.*—Para efectuar las excavaciones y cimientos en los cauces ó márgenes puede recurrirse á dos medios:

1.° Desecar y conservar seco el terreno donde debe efectuarse la construcción, hasta que éste alcance el nivel del agua.

2.° Ejecutar directamente el trabajo en presencia del agua, empleando artificios especiales.

En el primer caso se tienen las *ataguías*, que son sencillamente paredes impermeables de madera ó tierra, sencillas ó dobles, según las condiciones locales.

Las ataguías sencillas (figura 403) se componen de paredes formadas por pilotes y tablestacas, hincadas lo menos á 1,50 metros, encepadas y consolidadas. A esta pared se adosa, si ha lugar, un prisma de tierra arcillosa, elevándose el conjunto 0,40 ÷ 0,50 metros sobre el nivel del agua.

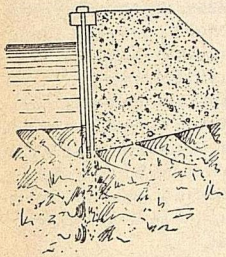


Fig. 403.

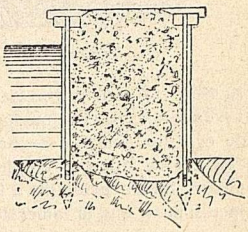


Fig. 404.

Las ataguías dobles (fig. 404) se componen de dos recintos separados, rellenándose el espacio que dejan con tierra fuertemente apisonada.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

486. *Excavación en terrenos cubiertos por las aguas.*—Estas excavaciones se ejecutan generalmente con las llamadas *dragas*.

Dragas de cuchara.—Se usan cuando el agua está tranquila y el fondo es de fango y arena ó tierras poco compactas.

Dragas de mandíbula.—Cuando el fondo es resistente y constituído por cantos y rocas fraccionadas.

Dragas de extracción continua (de rosario).—Se emplean para excavaciones en terrenos poco compactos.

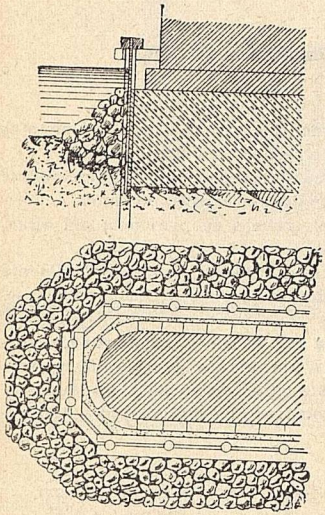


Fig. 405.

487. *Cimientos en terrenos cubiertos por el agua.*

Cimientos sobre macizos contenidos en recintos constituídos análogamente á las ataguías.—Se emplean cuando el terreno sobre que se cimenta está á poca profundidad (fig. 405).

Puede verterse el hormigón sin necesidad de agotar.

Cimientos con cajones sin fondo.—Pueden ser los cajones de madera ó hierro. Se construyen en seco en talleres especiales y se conducen con barcas al lugar de empleo, donde, lastrados, se sumergen, sujetándolos en su sitio con sobrecargas hasta la terminación del trabajo.

Cajones flotantes (figura 406).—Se construyen en talleres situados en las márgenes. Son verdaderas cajas de madera, hierro, y en la actualidad se hacen de cemento armado; se hacen impermeables. Se botan al agua y conducen al lugar de empleo, donde se fondean y amarran fuertemente, dando principio á la construcción, que se lleva uniformemente para que la inmersión sea por igual.

488. *Cimentaciones y trabajos en el agua por medio del aire comprimido.*—Los aparatos para cimentaciones por aire comprimido se componen de las partes siguientes:

a) *Cámara de trabajo* ó cajón que se apoya directamente so-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bre el fondo y que se va hundiendo por las excavaciones sucesivas. Esta cámara se conserva en seco por la acción del aire comprimido todo el tiempo que dura el trabajo.

b) *Cámara de equilibrio, de extracción y de admisión de materiales* sobre la cámara de trabajo y la *chimenea* ó tubo de paso. En la cámara de equilibrio se admite y descarga alternativamente el aire comprimido, según deba comunicarse con el cajón ó con el aire exterior.

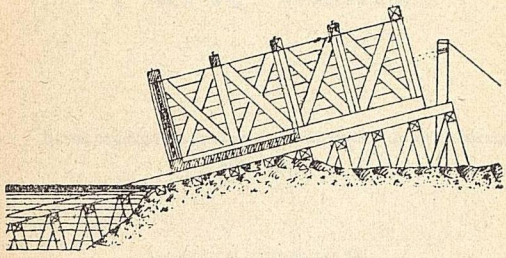


Fig. 406.

c) *Cámara de carga,* que corona la de trabajo y permanece constantemente en comunicación con el aire exterior.

Cajones portátiles de aire comprimido.—Son cámaras provistas de flotadores que permiten transportarlas. Tienen gran aplicación cuando la altura de agua no excede de 15 ÷ 20 metros.

Para más detalles, véanse los tratados especiales de cimentaciones por aire comprimido.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Parte sexta.

§ 1.—Datos prácticos y precios de materiales y de construcciones hidráulicas.

PRECIOS ELEMENTALES

489. *Estos precios son un tipo medio.*

a) *Jornales.*

Braceros		1,00 á 2,00
Albañiles	Oficial	4,00 á 5,00
	Ayudante	3,00
	Peón de mano	2,00 á 2,50
Canteros	Oficial de asiento	5,00
	„ de labra	4,50
	Ayudante	3,25
Carpinteros de armar	Oficial	5,00
	Ayudante	3,50
	Peón	2,50
Idem de taller	Oficial	4,00 á 5,00
	Ayudante	2,50
	Aprendiz	1,00
Herreros	Forjador	5,00
	Oficial de fragua	4,50
	„ de lima	4,00
	Ayudante	3,00
	Taladrador	2,75
	Mancebo de fragua	2,50
	Machacador	2,00
	Aprendiz sonador	1,00

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Plomeros y pizarreros.	Oficial	4,50, á 6,00
	Ayudante	3,00
	Peón	2,00
Barreneros		3,00 á 8,00
Aserrador		3,00 á 4,00
Asentador de tubos de hierro		5,00 á 10,00
Mecánico		5,00 á 10,00
Operario especial para trabajos en cemento		4,00 á 7,00
Marinero		2,50 á 6,00
Maquinista		5,00 á 8,00
Fogonero		2,50 á 4,00
Volquete con una mula		5,00
„ con dos ídem		8,00
Huebras		6,00

Estos tipos medios se refieren á trabajos en condiciones ordinarias, en seco; cuando es con agotamientos, en pozos, galerías, etc., los precios aumentan según las circunstancias.

Los precios de los materiales varían, con la dificultad de la extracción, abundancia, transporte, etc. etc.

ANÁLISIS DE PRECIOS

490. *Extracción de productos debajo del agua (por cada m³).*

1. Materiales fangosos, con una altura de agua de 0,50 á 2,00 m. Operario con draga de mano, de 1,40 á 1,07 horas.

2. Idem á la profundidad, de 2 á 4 metros:

Alquiler de la draga	1,25 á 150 hora.
Operarios	7,50 á 9,00 „
ó sea por cada seis operarios	1,25 á 1,05 „

3. Arenas, gravas, piedras á la profundad de 1,50 á 4 metros.

Alquiler de la draga	1,10 á 1,50 hora.
Operarios para la remoción	1,80 á 3,00 „
Idem para la extracción con la draga	4,08 á 6,00 „

Se necesita por lo menos seis operarios.

4. Voladura de rocas bajo el agua:
Pólvora de mina.

Para rocas graníticas ó cuarzosas muy duras	1,15 kilogramos.
Para rocas silíceas de dureza media	0,86 »
Para areniscas y calizas	0,70 »

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

491. *Transportes por el agua.*

1. Cargados los productos sobre balsas, dos hombres pueden moverla á remo en descenso con la velocidad de 80 á 100 metros por 1', cuando la pendiente del río es $< \frac{1}{1000}$.

Materias fangosas.....	9,00 m³
Arena, grava, piedras.....	6,67 »

Dos hombres pueden arrastrar dicha carga hasta las orillas por medio de cable. con la velocidad de 5 á 10 metros por 1'.

2. Descarga en las orillas; un operario emplea:

Para materias fangosas.....	0,80 á 1,00 por m³.
Para arena, grava, piedras...	0,90 á 1,40 » .

3. Para remover un m³ de cantos rodados, ó rocas quebrantadas con barrenos debajo del agua, con barcas cargadas, se necesita:

Alquiler de dos barcas ó gabarras, capaces de un peso seis veces mayor que el de las rocas de que se trata.

Para remover 2 m³ de piedra:

Operarios.....	4,00 horas.
Idem para cargas en los barcos, si están próximos.....	2.20 » .

Cuatro barqueros con un buzo, emplean por cada m³ de maciño:

Para recogerlo con cables ó cadenas	0,50 á 1,00 hora.
Para asegurarlo á la barca.....	» 1,00 » .
Para descargar el barco y cargar el vacío.....	» 1,00 » .

Se repite la operación cuantas veces sea necesario, si hay que elevar la roca en varios tiempos.

Si el río es navegable, estas barcas recorren de 80 á 100 metros por minuto en la dirección de la corriente.

Para descargar el barco y terminar las operaciones, se emplean:

Operarios.....	2,25 horas.
Gastos, accesorios, etc.	

492. *Agotamientos para cimentaciones, etc.*

1. Coste de 1 m³ de agua elevado á la altura de 1 metro con palo ó achicadera:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Alquiler de la pala..... 1,00 pesetas al día.
Operarios..... 0,10 horas.
Gastos de andamios, vigilancia, etc.

2. Coste de 1 m³ extraído con dragas y con cubos. En una jornada de 8 horas un operario eleva á 1 metro de altura:

Con dragas..... 67,50 m³ de agua.
Con cubos..... 30,69 »

Alquiler de los aparatos, gastos accesorios, etc.

3. Coste de 1 m³ de agua elevado con el tornillo de Arquímedes á la altura de 1 metro:

Operario..... 0,087 horas.
Grasas (sebo)..... 0,20 kilog. al día.

Se necesitan, por lo menos, seis operarios.
Alquiler de la máquina, 5,40 pesetas al día.
Para montar la máquina se requiere un carpintero y dos ayudantes, que emplean:

En la carga..... 2,00 horas.
En la descarga..... 1,00 »
En la instalacion..... 3,50 »

Para el transporte, un volquete con conductor y dos caballerías.
Gastos accesorios, generales, etc.

4. Coste de 1 m³ de agua elevado por medio de norias á 1 metro de altura:

Operarios para la extracción..... 0,07 horas.
Noria vertical... 0,20 á 0,36 pesetas por hora.
Idem inclinada... 0,30 á 0,90 » »
Grasas por jornada de 24 horas. 0,75 kilogramos.

Para el transporte y montaje de una noria, sirven los mismos datos que para el tornillo de Arquímedes (véase 3).
Si la noria es de pozo inclinado, el montaje dura 1,50 horas más aproximadamente.
Gastos accesorios:

Norias de pozo vertical..... 0,90 pesetas.
Idem íd. inclinado..... 1,30 »

5. Coste de 1 m³ de agua, elevada á la altura de 1 metro por medio de norias movidas por caballerías.
Una caballería puede elevar 642 m³ en 8 horas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para el operario ocupado, se admite un $^1/_4$ á $^1/_6$ del tiempo empleado por cada caballería.

Los demás datos como en el caso precedente.

6. Coste de 1 m³ de agua, extraída con bombas aspirantes de simple efecto, á la altura de 1 metro:

Operarios..... 0,10 horas.
Grasas..... 0,05 kilog. por hora.
Alquiler de la bomba ..... 0,04 pesetas.

Para instalar la bomba, un montador y su ayudante, emplean:

Carga y descarga..... .. 1,00 horas.
Montaje..... 3,00 » .

Para el transporte basta una caballería.

Funcionan con el esfuerzo de dos operarios.

7. Si la bomba es de doble efecto, para extraer 1 m³ de agua á la profundidad de 1 metro, se necesita:

Operarios..... 0,07 horas.
Grasas lubricantes..... 0,07 kilogramos.

El alquiler y montaje aumentan próximamente $\frac{1}{10}$.

8. Coste de un m³ de agua, extraída á 1 metro de profundidad con bombas centrífugas, movidas por máquinas de vapor.

Varía el coste según el volumen de agua que se extrae. Suponiendo que se quieren extraer 1.000 m³ por hora, se tiene por cada m³:

Fogonero..... 0,001 horas.
Maquinista ..... 0,001 » .
Hulla..... 0,030 kilogramos.

Gasto para el transporte del agua, según las circunstancias:

Alquiler del motor (seis caballos efectivos)..... .... 0, 0015 pesetas.
Idem de la bomba centrifuga... 0,00025 » .

Coste de instalación de la bomba:

Maquinista y un ayudante..... 2 horas.

Yunta para el transporte.

Gastos accesorios, etc.

493. *Obras accesorias en cimentaciones hidráulicas.*

1. Coste de un pilote hincado en el terreno, cuando ha de hincarse totalmente bajo el agua.—Coste total del pilote al pie de obra.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para labrar el pilote y armarlo de azuche y zuncho, según el diámetro, emplea un carpintero:

Diám.	Horas.	Diám.	Horas.	Diám.	Horas.	Diám.	Horas.
0,125	0,67	0,200	1,60	0,275	3,00	0,350	4,80
0,150	0,90	0,225	2,00	0,300	3,50	—	—
0,175	1,20	0,250	2,50	0,325	4,00	—	—

Azuche y zuncho, de 2 á 5 kilog.

Para el martinete se necesitan tantos peones como veces pesa el mazo 20 kileg.

Cada peón emplea en el primer metro de hinca:

Diámetro del pilote. — Milímetros.	Tiempo empleado por cada peón según sea el lecho de					
	Fango. — Horas.	Arena. — Horas.	Tierra compacta. — Horas.	Grava y arena. — Horas.	Grava fina. — Horas.	Grava gruesa y cantos. — Horas.
125	0,480	0,800	0,960	1,200	1,300	1,444
150	0,600	0,960	1,200	1,444	1,600	1,800
175	0,700	1,140	1,400	1,700	1,900	2,100
200	0,835	1,333	1,667	2,000	2,150	2,400
225	0,937	1,500	1,875	2,250	2,400	2,700
250	1,050	1,700	2,100	2,500	2,700	3,000
275	1,125	1,875	2,250	2,800	3,000	3,333
300	1,200	2.000	2,400	3,000	3,250	3,600
325	1,333	2,250	2,700	3,333	3,600	4,000
350	1,454	2,400	2,900	3,600	3,900	4,333

Para cortar las cabezas de los pilotes se emplean herramientas especiales, y según el diámetro y la profundidad, se emplean los tiempos siguientes, expresados en horas y fracciones centesimales de hora:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Diámetro del pilote. — *Milímetros.*	PROFUNDIDAD DE AGUA					
	1 m.	2 m.	3 m.	4 m.	5 m.	6 m.
125	0,040	0,080	0,120	0,167	0,200	0,250
150	0,050	0,100	0,150	0,210	0,250	0,333
175	0,070	0,143	0,216	0,290	0,350	0,444
200	0,095	0,190	0,285	0,380	0,475	0,600
225	0,120	0,240	0,360	0,480	0,600	0,750
250	0,150	0,300	0 450	0,600	0,750	0,900
275	0,180	0,360	0,540	0,725	0,900	1,100
300	0,210	0,420	0,630	0,840	1,050	1,250
325	0,250	0.500	0,750	1,000	1,250	1,500
350	0,300	0,600	0,900	1,200	1,500	1,750

Otras veces se usan sierras, que se manejan debajo del agua por medio de mecanismos especiales; en este caso se necesitan seis operarios y un capataz, que emplean:

Diám.	Horas.	Diám.	Horas.	Diám.	Horas.	Diám.	Horas.
mm.		mm.		mm.		mm.	
125	0,080	200	0,190	275	0,360	325	0,500
150	0,100	225	0,240	300	0,420	350	0,600
175	0,143	230	0,300	—	—	—	—

Alquiler del martinete.
Gastos accesorios, etc.

2. Para la construcción y colocación en obra de cajones y recintos sencillos, se tienen en cuenta los elementos siguientes:

Pilotes..... ..... Ptas. al pie de obra.
Tablas de roble..... » »

Un carpintero con un ayudante emplea para los siguientes trabajos:

Labra de cabezas y asiento de tablones..... 18,00 horas.
Construcción de 1 m. lineal de machiembrado..... 0,30 »
Colocación á línea de los tablones por m²..... 5,00 »

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Aserrado de 1 m² de tablones ..... 6,25 horas.
Preparación, labra y colocación de 1 m³ de cepos, etc..... 15,00 á 30,00 »

Clavazón, la necesaria.
Gastos necesarios é imprevistos.

3. Emparrillados. Su coste puede evaluarse como sigue:
Coste de la madera.
Por cada metro cúbico de madera, un carpintero y su ayudante emplean:

En plataformas colocadas fuera del agua..... 8,00 horas.
Idem íd. debajo del agua, á una profundidad de 0,20 á 0,30 metros..... 10,00 »
Si la plataforma ha de sumergirse cargándola de pesos ó por otros medios mecánicos..... de 16,00 á 20,00 »

494. *Revestimiento de pozos.*

1. Metro cúbico de revestimiento de mampostería:

Piedra necesaria al pie de obra..... 1,050 m³.
Mortero hidráulico..... 0,200 »

Practicada la excavación y entivación, se necesita para la mano de obra dos mamposteros y cuatro peones, que emplean un tiempo x, expresado por

$$x = \frac{t}{2} + 0{,}015\, t\ (h - 1) + \frac{0{,}20}{s};$$

en la que

h = profundidad del pozo.
s = espesor del muro.
t = 10,50 horas.

Transporte del material al pie de la obra.
Gastos accesorios, etc.

2. Metro cúbico de revestimiento con fábrica de ladrillo.

$n = \frac{1{,}10\, l}{v}$ = número de ladrillos, siendo l el largo y v el volumen.

El mortero hidráulico necesario x se deduce de la

$$x = 0{,}008\, n \left[a\, b\, . + s\, (a - b) \right];$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en que a, b, s representan, respectivamente, el largo, ancho y espesor del ladrillo, y n el número de ladrillos que entran en un metro cúbico.

Para construir el revestimiento, un albañil y dos ayudantes emplean por cada 100 ladrillos un tiempo x.

$$x = t + 0{,}03\,(h - 1);$$

h = profundidad del pozo.

Gastos accesorios, etc.

435. *Coste de las alcantarillas y cañerías.*

1. Coste de 1 metro lineal de alcantarilla de sección normal ó de otra forma.

Coste de la excavación.

Muros, etc., con mortero hidráulico ó de cemento.

Hormigón en cimientos.

Enlucido interior de cimientos.

Relleno de la excavación.

2. Coste de 1 metro lineal de cañería de barro ó cemento.

Excavación (según la profundidad y el diámetro).

Hormigón ó fábrica, en la base ó cimiento.

Cañería de barro ó cocido cemento.

Toma de las juntas.—Se considera como un enlucido de muros para un espesor igual al radio del tubo, ó mayor si hay presiones, y en una longitud igual al diámetro.

Revestimiento de fábrica (no es indispensable).

$\frac{1}{20}$ del coste por roturas, etc.

Relleno de la excavación.

Gastos generales.

Beneficio.

3. Coste de cañerías de hierro fundido con las juntas tomadas en caliente.

Tubos de hierro fundido.

Plomo en planchas: 0,125 kg. por cada metro y centímetro de diámetro para los diámetros de 30, 40 y 50 milímetros. De 60 milímetros en adelante 0,065 kg. por cada metro de tubo y centímetro de diámetro.

Cuerda alquitranada $= \frac{1}{10}$ del peso del plomo. Si se pone en vez de cuerda un alambre de plomo, se reduce el peso á la mitad.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Hulla.—El gasto depende bastante de las condiciones atmosféricas.—Puede admitirse como término medio 0,5 kilog. de hulla por cada centímetro de diámetro.

Arcilla.—Basta muy poca por cada centímetro de diámetro si se halla en el terreno; debe hacerse provisión, proporcional á la distancia á que se encuentre.

Trabajo del asentador, 0,01 de jornal por cada centímetro, de diámetro y metro de cañería.

Trabajo del oficial y ayudante: igual al del asentador.

Aumento por piezas especiales, como codos, injertos, etc., y roturas, 0,05 del coste total.

Beneficio $\frac{1}{10}$ del coste total.

Gastos generales.

496. *Coste de los aparatos.*

El precio de los aparatos varía según la amplitud, la presión, la manera de estar construídos, etc., pudiendo sólo establecerse que á igualdad de las demás condiciones, en las llaves el precio es proporcional al diámetro.

497. *Precio de varias obras, incluyendo todos los gastos accesorios.*

Estos precios sólo sirven de guía, pues están deducidos como término medio, y pueden alterarse por diversas circunstancias especiales:

M. c. de mampostería ordinaria.....	8,00 á 30,00	pesetas.
» » » hidráulica	8,00 á 43,00	»
» » » fábrica de ladrillo ordinario....	10,00 á 50,00	»
» » » » » » con mortero hidráulico	10,00 á 57,00	»
M. c. de hormigón hidráulico.....	9,50 á 60,00	»
» » » ladrillo en bóvedas.....	30,00 á 60,00	»
M. l. de atarjeas.....	17,00 á 40,00	»
» » » alcantarillas	35,00 á 45,00	»
» cuadrado de entramados.....	2,50 á 7,00	»
» » » tabicado.....	1,20 á 2,30	»
» » » enlucido de mortero hidráulico.....	0,80	»
M. cuadrado de enlucido de cemento y arena	1,20 á 2,00	»
M. cuadrado de enlucido de cemento puro.	1,50 á 2,50	»

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Asiento en obra de 1 m³ de sillería.....	12,00 á 20,00 pesetas.
M. l. de canal.....	2,00 á 4,60 »
» » » tubos.....	9,00 á 40,00 »

498. *Coste de los tubos de cemento.*

1. Tubo de 0,25 metros de diámetro y 0,08 metros de espesor.

Cemento.....	55,00 kilogramos.
Grava fina.....	0,10 m. c.
Arena.....	0,30 »
Mano de obra:	
Maestro.....	0,25 del jornal.
Ayudante.....	0,25 »
Peón.....	0,25 »

Gastos accesorios: $\frac{1}{20}$ de la mano de obra.

Imprevistos: $\frac{1}{10}$.

2. Tubo de 0,25 de diámetro y 0,12 de espesor:

Cemento.....	87,60 kilogramos.
Grava fina.....	0,15 m. c.
Arena.....	0,45 »
Mano de obra:	
Maestro.....	0,25 del jornal.
Ayudante.....	0,25 »
Peón.....	0,25 »

Gastos accesorios: $\frac{1}{20}$ de la mano de obra.

Imprevistos: $\frac{1}{10}$.

499. Coste total de cañerías terminadas (excepción de las obras de distribución) en los casos generales por cada metro de cañería y centímetro de diámetro:

Para conducciones pequeñas sin obras de importancia.....	de 1,14 á 1,35 ptas.
Para conducciones de importancia con obras grandes (depósitos, etc.).....	de 1,25 á 1,60 »
Coste de los depósitos cubiertos para aguas potables.—Por cada metro cúbico de agua contenida	de 35,00 á 60,00 »

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Fórmula para calcular el coste de las cañerías de hierro fundido.—Sea C el coste de la cañería, L la longitud en metros, D el diámetro y a un coeficiente que, multiplicado por D y L, da C, se tiene:

$$a = 53{,}77 + 86{,}20\ D$$

y

$$C = a\ L\ .\ D = L\ D\ (53{,}77 + 86{,}20\ D).$$

500. *Accesorios diversos.*

1.—Tubo recto de hierro fundido, de enchufe y cordón	0,20 ptas.	kilogramo.
2.—Piezas especiales para ídem íd	0,38 »	»
3.—Tubo Petit con accesorios (anillos de goma, etc.), por cada mm. de diámetro interior	0,075 »	m. l.
4.—Tubo de hierro forjado con uniones	0,70 »	kilogramo.
5.—Piezas especiales para ídem	3,00 »	»
6.—Tubos de plomo (cualquier diámetro)	0,50 »	»
7.—Planchas de ídem	0,45 »	»
8.—Estaño en barras	3,50 »	»
9.—Cuerda alquitranada	1,00 »	»
10.—Aros de caucho vulcanizado	25,00 »	»
11.—Ovalillos de ídem elástico, marca VB.	12,50 »	»
12.—Llaves modelo inglés de cualquier diámetro $>$ 40 mm.; por cada centímetro de diámetro	1,50 »	»
13.—Asiento en obra, á cielo abierto, de tubos de hierro fundido, incluso las juntas; por cada mm. de diámetro interior del tubo	0,012 »	por metro.
14.—Idem, id., íd., íd. en galería	0,015 »	»
15.—Idem íd. de tubos Petit á cielo abierto.	0,006 »	»
16.—Idem, íd., íd. en galería	0,008 »	»

17.—Mano de obra de juntas de enchufe, incluso cuerda, plomo etcétera:

a)	Tubos de	40 mm. de diámetro.	0,56	pesetas cada uno.
b)	»	50 »	0,875	»
c)	»	60 »	1,05	»
d)	»	80 »	1,98	»
e)	»	100 »	2,10	»
f)	»	125 »	2,715	»
g)	»	150 »	3,45	»
h)	»	200 »	4,20	»
i)	»	250 »	5,25	»

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

18.--Asiento en obra y emplomado de un anillo y enchufe de hierro fundido, comprendiendo el coste del material y gastos necesarios:

a)	Tubos de	40 mm. de diámetro interior.	1,00 ptas.	cada uno.
b)	»	50 »	1,35	»
c)	»	60 »	1,35	»
d)	»	80 »	3,50	»
e)	»	100 »	4,00	»
f)	»	125 »	5,00	»
g)	»	150 »	6,00	»
h)	»	200 »	7,00	»
i)	»	250 »	9,00	»

19.—Asiento en obra de una llave, haciendo las juntas con caucho ó plomo, pernos, etc.; por cada milimetro de diámetro ..... 0,25 pesetas.

20.—Desmontaje de una cañería de hierro, fundiendo el plomo de las juntas (quedando el plomo á beneficio de la empresa); por cada centímetro de diámetro ..... 0,05 pesetas m. l.

21.—Asiento á cielo descubierto de cañerías de hierro forjado, incluso las piezas especiales; por cada milímetro de diámetro ..... 0,004 »

22.—Idem íd. en galería ..... 0,005 »

23.—Idem íd. de tubos de plomo en zanjas ó trincheras ..... 0,002 »

25.—Idem, íd., íd. en galerías ..... 0,003 »

§ 2.—**Valor del agua.**

501. *Valor del agua.*—Los criterios abstractos que algunas veces adoptan los técnicos para establecer el valor del agua dan lugar á frecuentes cuestiones. Para que esto no suceda, hay que modificar á veces el propio juicio y partir de criterios muy sólidos y exactos.

Toda cosa que puede producir alguna utilidad tiene un valor proporcionado á la utilidad que reporta.

Todo objeto que no produce ningún rendimiento, pero que es

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

susceptible de darlo mediante ciertos trabajos, tiene un valor proporcional á la utilidad que reportaría si tales trabajos se ejecutaran.

502. El agua tiene un valor proporcional á la utilidad que reporta. Según los diversos modos como se utilizan, pueden clasificarse las aguas en las siguientes categorías:

Aguas de riego.
Aguas para fuerza motriz.
Aguas para usos industriales.
Aguas potables.
Aguas minerales.

Si el agua de que se trate es susceptible de alguno de los empleos antes mencionados, se deduce su valor como se indica en los párrafos siguientes:

A las categorías anteriores cabe añadir otra: la de las *aguas decorativas*. Hay casos especiales, como el que algunos denominan *aguas de cerramiento,* cuando una propiedad está defendida por un foso lleno de agua corriente.

503. *Aguas de riegos.*—En Lombardía, las buenas aguas para riego alcanzan un precio que oscila, como máximum, entre 1 000 á 1.700 liras al año el litro por 1". Para fijar el precio debe tenerse en cuenta la región, valor de los pastos, naturaleza y pendiente del suelo y conocer con toda exactitud la extensión de terreno que ha de regarse.

504. El rendimiento de los riegos y los gastos se determinan por examen é informaciones cuidadosas.

Hay que tener en cuenta el valor del agua sobrante, que se determina con la mayor exactitud haciendo experimentos si es necesario. La cantidad de agua sobrante oscila en general de $^1/_3$ á $^1/_8$, según la permeabilidad de los terrenos que se riegan.

505. Cuando el agua ha de emplearse temporalmente, hay que tener presente el turno. En un canal cualquiera en que cada usuario tiene derecho á disfrutar todo el caudal Q durante O horas *(turno y horario)* en un período de N días, equivale á que pueda disponer de un caudal continuo q, calculado por la expresión

$$q = Q \frac{O}{24\ N}.$$

506. Cuando se trata de evaluar un manantial que no se utiliza, pero el cual puede emplearse en riegos, basta calcular el va-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

lor de las obras que han de ejecutarse para hacer utilizables dichas aguas y restar esta cifra del total del capital.

507. *Precio del agua en algunas localidades:*

Canal Villoresi (Italia):
30 liras al año por la dotación de 1 litro por 1".
Canal Cavour (Italia):
23 liras al año por la dotación de 1 litro por 1".
Canal Cavour, en Pavía:
80 liras al año por la dotación de 1 litro por 1".
En Bérgamo:
13 liras al año por la dotación de 1 litro por 1".
En Cremona:
30 liras al año por la dotación de 1 litro por 1".
En Lucca:
19 liras al año por la dotación de 1 litro por 1".
En Nápoles (valle del Serino):
32,50 liras al año por la dotación de 1 litro por 1".
En Sicilia (las huertas próximas á Palermo):
1.000 liras al año por la dotación de 1 litro por 1".

En otros lugares se llega á pagar hasta 2.000 liras el litro por segundo.

En muchos aprovechamientos de aguas para riegos, los precios siguen siendo los primitivos, y se conservan más bien por tradición que por otra causa.

En España rigen en algunas localidades las tarifas que aparecen en el cuadro siguiente, en el cual también se consignan algunas tarifas de canales extranjeros:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PUNTO	PRECIO — *Pesetas.*	UNIDAD DE MEDIDA	PROCEDENCIA DE LAS AGUAS	DOTACIÓN DE AGUA — *Litros por 1"*
Cuenca del Ter	18,00	Hectárea regada.	Río Ter: Derivadas por acequias.	
» Besós	14,00	»	Acequia de Moncada: Río Besós.	
Cuenca del Llobregat:				
Canal de Manresa (ó de la izquierda del Llobregat)	12,50	»	Río Llobregat	1.000
Canal de la Infanta	(Gratuito, porque entre los propietarios de las *mojadas* regables se hizo un reparto para pagar de una vez 181,25 pesetas por *mojada,* ó sean 412,50 pesetas por hectárea. Esta es la cuota que, como pago único, se exige á los nuevos usuarios)		Río Llobregat	4.200
Canal de la derecha del Llobregat:				
Entarquinamiento	5,50	Hectárea regada.	Llobregat	Las sobrantes del río después de surtido el canal ante-
Superficie de 25 hec. Riegos con cultivo 1.ª clase.	31,00	»		
Superficie de 25 hec. » 2.ª »	25,75	»		
Superficie de 25 hec. » 3.ª »	20,50	»		
Superficies de 25 hectáreas	12 á 20,00	»		

FUNDACIÓN MANUEL BUENO TURRIANO

Delta del Ebro (Amposta)	47,00	Hectárea regada.	Ebro.	
Canal Imperial.—Contrato por más de un año	2.000,00 7,50	Muela, ó sea litro continuo durante el día natural.	Ebro	25.000
Canal de Urgel	56 á 60; 57,25, término medio.	Hectárea regada.	Río Segre	33.000
Acequia Real del Júcar	*Tasa*, 3,75 ~, y *cequiaje* = 0,50 ~; total, 3,75 á 7,50.	»		
Acequia de Granada	5 á 10	»		
Vega de Málaga	56,00	»		
Idem del Tajo	86,00	»		
Idem del Tajuña	86,00	»		
Idem del Henares	86,00	»		
Alicante	2,50 á 63,00	»	Pantano de Tibi.	
Almansa	3,00	Un riego anual por hectárea	» de Almansa.	
Murcia	30 á 90	Hectárea regada.	» de Lorca.	
Sur de Francia (término medio)	23 á 25	»		
Canal de Marsella	57,00	»		
Bexier (Garma)	55,00	»		
Brillan (Bajos Alpes)	55,00	»		
Crillon (Avignon)	20,00	»		
Canal de la Caropusa	44,00	»		
Idem de Alpenas	95,00	»		
Idem de Carlos Alberto	25,00	»		
Idem de Noviglio grande	40,00	»		

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

508. *Agua para fuerza motriz*—Para determinar el valor de una fuerza hidráulica, hay que compararla con lo que costaría obtener igual fuerza empleando otro motor distinto del agua. Generalmente se toma como término de comparación la obtenida por medio del vapor.

509. *Agua para usos industriales.*—Hay muchas industrias (fábricas de papel, curtidos, etc., etc.) que necesitan como elemento indispensable el agua. Cuando el volumen que consumen es considerable, puede asignarse al agua un precio aproximado al de los riegos; si el volumen es pequeño, puede aumentarse y estableclerlo, tomando como base el coste de las obras de aprovechamiento y conducción desde el rio ó manantial hasta el punto de empleo.

510. *Aguas potables.*—Desde el punto de vista que ahora nos ocupa, hay que designar como aguas potables las que, reuniendo las condiciones higiénicas prescritas, se conducen á un centro habitado, ó bien tienen su origen en dicho centro.

El precio del agua potable depende principalmente de las obras que hay que ejecutar para conducirla al punto de consumo, ó del coste de esta conducción.

511. En general, para conocer el precio del agua potable, se determina el interés que debe percibir el capital empleado en las obras de abastecimiento, la amortización (si se hubiese establecido) y los gastos de explotación, conservación y reparación. Esta suma, dividida por el volumen de agua (en metros cúbicos) distribuído en el año, da el precio.

El agua potable tiene diversos precios, que dependen principalmente del coste del acueducto, de la abundancia del manantial, de la mayor ó menor necesidad de abastecer la población, de la temperatura del agua, de la escasez de agua al construirse las obras y de los contratos entre la entidad que efectúa el abastecimiento de agua y los consumidores.

512. Como ejemplo, se insertan á continuación las tarifas que rigen los abastecimientos de aguas de algunas poblaciones.

Madrid.—Canal de Isabel II.—Las concesiones se hacen: 1.º Por volumen determinado con llave de aforo.—2.º Por volumen alzado á caño libre.—3.º Por volumen indeterminado con contador.

En las concesiones para usos industriales se otorgan en general por llave de aforo. En los casos en que las condiciones de la industria y el local lo permitiesen, pueden hacerse las concesiones

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

á caño libre. Si el agua es para alimentar máquinas de vapor, se hace la valuación con arreglo á las cifras siguientes:

Máquinas de vapor.....	30	litros por HP y hora.
Idem de expansión y condensación.	600	» » » »
Idem de baja presión.....	1.200	» » » »

Concesiones para usos domésticos.—La tarifa para la concesión á caño libre varía con el alquiler de las habitaciones. Estos se fijan entre menos de 125 pesetas hasta más de 12.500 anuales, formando 20 categorías; además se tiene en cuenta el número de grifos, inodoros, urinarios, etc., etc., resultando se paga como indica el siguiente cuadro.

TARIFA A

Número de orden.	Alquiler anual.	Por un grifo de cocina.....	Por cada inodoro..	Por cada urinario.	Por cada barrido..	Por cada lavadero.	Por cualquier otro grifo de servicio doméstico, además del de cocina.
	Pesetas.	Ptas.	Ptas.	Ptas.	Ptas.	Ptas.	Pesetas.
1	Hasta 125.	4	2	4	7	14	1
»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»
20	Más de 12.500.	73	14	28	42	84	5

Cada ascensor de personas (casa particular).. 100 ptas. anuales.
» » » » en estableçimientos de concurrencia pública..... 200 » »

En las tabernas, confiterías, etc., se paga además un sobreprecio sobre la tarifa A, que no bajará nunca de 8 pesetas anuales.

En las fincas donde haya acumulación de personas, además de la tarifa ordinaria se pagará una peseta por cada individuo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En las concesiones á caño libre se paga, además de la tarifa correspondiente, los servicios especiales, como sigue:

Por cada m² de jardín	0,50 ptas.	anuales.
» » caballería ó vaca	8,00 »	»
» » carruaje	10,00 »	»
» » asiento de fonda, café, etc	1,00 »	»

Concesiones para usos no industriales:

Suministro por aforo para usos no industriales, un hectolitro diario, 8 pesetas anuales.

Concesiones para usos industriales:

Por 5 hectolitros diarios	35 ptas.	al año.
» 10 » »	45 »	» »
» 20 » »	70 »	» »
» 30 » »	85 »	» »

Por más de 30, 2,05 ptas. anuales por cada hectolitro diario, contándose ds 10 en 10 hectolitros.

Concesiones por contador.—Se paga por el volumen anual consumido:

Para todo uso no industrial	0,03 ptas. anuales por hectolitro.
Para todo uso industrial, consumiendo menos de 20 hectolitros diarios	0,03 » » » »
Para todo uso industrial, consumiendo más de 20 y menos de 40 hectolitros ídem	0,02 » » » »
Para todo uso industrial, consumiendo más de 40 hectolitros ídem	0,02 » » » »

Jaén	3,50 pesetas m³.
Ciudad Real	1,40 »
Cádiz	0,99 »
Sevilla	0,50 »
Valencia	0,35 pesetas m³.
Barcelona	0,35 »
Burgos	0,30 »
Huelva	0,20 »
Toledo (del río Tajo)	0,12 »
Logroño	0,02 »

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Roma	Precio máximo.	0,15	liras	el m³	El precio mínimo corresponde al máximo consumo, y viceversa.
	» mínimo .	0,07	»		
Florencia	» máximo.	—	»	»	
	» mínimo .	0,40	»		
Milán	» máximo.	0,20	»	»	
	» mínimo .	0,15	»		
Nápoles	» máximo.	—	»	»	
	» mínimo .	0,25	»		
Turín	» máximo.	0,20	»	»	
	» mínimo .	0,15	»		
Venecia	» máximo.	0,60	»	»	
	» mínimo .	—	»		

Constantinopla	0,90	pesetas m³.
Lyon	0,68	»
Rennes	0,66	»
Versalles	0,50	»
Paris	0,35	»
Tolosa	0,35	»
Marsella	0,20	»
Berlín	0,25	»

513. *Aguas minerales.*—Es difícil asignar valor á las aguas minerales y no se debe prescindir de ciertos criterios

Si el mineral contenido en las aguas puede extraerse, conviene valorar el mineral y los gastos de extracción. Cuando los minerales contenidos en el agua tienen cualidades medicinales, conviene conocer si tienen un precio en el comercio y si es posible sustituirlas en medicina con productos artificiales, conocer la estadística de las enfermedades en que está indicado su empleo y las clases en que predominan; depende también del punto donde brota el manantial, caudal del mismo, de la facilidad de medios de transporte, de las dificultades de la extracción y otras circunstancias menos importantes.

514. *Casos especiales.*

Aguas decorativas.—En las desecaciones de lagos y lagunas suele haber oposición por los propietarios ribereños, debida á la depreciación estética que sufre la localidad por la desaparición del lago. Concretar la importancia de la depreciación es difícil, y sólo puede hacerse por comparación con localidades de iguales ó de parecidas condiciones.

515 Algunas veces un curso de agua sirve para limitar ó cerrar un predio; la supresión del curso de agua equivale á suprimir ese

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cerramiento, y en estas circunstancias el valor del agua es evidentemente el mismo que tendría el cierre.

516. El agua que sirve para abrevadero de ganados se considera (en Italia) como agua para usos industriales, y se la valora como se indicó en el párrafo correspondiente.

Las aguas sobrantes pueden proceder de riegos, y en este caso tienen un valor que difiere, poco más ó menos, del agua para riegos. Las aguas pluviales recogidas tienen un valor proporcional á la utilidad que pueden reportar en su empleo.

517. *Aguas sucias procedentes del alcantarillado.*—Adquieren un valor especial, por las materias fertilizantes que contienen.

Nazzani dedujo, después de varios análisis, que el metro cúbico de agua procedente del alcantarillado vale 0,40 pesetas; sin admitir como práctico este valor, cita los obtenidos por Freycinet, el cual, en determinadas circunstancias, atribuye al agua del alcantarillado un valor de 0,12 pesetas el metro cúbico, y establece además:

0,20 pesetas en circunstancias excepcionalmente favorables.

0,15 pesetas en la proporción normal de 1.000 metros cúbicos por hectárea.

0,10 pesetas en la proporción media de 2.000 metros cúbicos por hectárea.

0,05 pesetas en la proporción de 4.000 metros cúbicos por hectárea.

518. El agua puede no tener valor ó tenerle negativo cuando los daños y perjuicios que produce son superiores á la utilidad que reporta ó pudiera reportar. En este caso hay que evaluar los perjuicios para deducir la depreciación producida por el agua.

519. Cuando el agua atraviesa un predio sin producirle ninguna utilidad, le sujeta á una servidumbre; tal sucede en la construcción de acueductos y canales.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ 3.—Legislación de aguas (en España).

520. Además de las prescripciones del Código Civil, rigen las leyes, reglamentos y principales disposiciones que se enumeran á continuación:

Código Civil.

Sección 1.ª—Artículos 407 y 408.
» 2.ª— » 409 á 411.
» 3.ª— » 412 á 416.
» 4.ª— » 417 á 419.
» 5.ª— » 420 á 425.

Servidumbres legales:

Sección 2.ª—Artículos 552 á 563.
» 6.ª— » 586 á 588.

Ley de Aguas: 13 de Junio de 1879.

Alumbramiento de aguas subterráneas.—Reales órdenes de 5 de Junio de 1883 y 1.º de Agosto de 1891.

Deslinde de terrenos de dominio público pertenecientes al álveo de un río.—Real orden de 9 de Junio de 1886.

Instrucción para tramitar los expedientes de concesión de aprovechamiento de aguas públicas.—Real orden de 14 de Junio de 1883.

Reglamento sobre enturbiamiento é infección de aguas públicas y sobre aterramiento y ocupación de sus cauces con los líquidos procedentes del lavado de minerales ó con los residuos de las fábricas.—Real decreto de 16 de Noviembre de 1900.

Instrucción para formar y tramitar las ordenanzas y reglamentos de las Comunidades de regantes, con arreglo á las disposiciones de la vigente ley de Aguas.—Real orden de 25 de Junio de 1884.

Modelo de ordenanzas de Comunidades de regantes.—Real orden de 25 de Junio de 1834.

Modelo de reglamentos para Sindicatos de riegos.—Real orden de 25 de Junio de 1884.

Modelo de reglamento para jurados de riegos de las Comunidades de regantes.—Real orden de 25 de Junio de 1884.

Convenios internacionales sobre ríos limítrofes.—*Gaceta* de 16 de Diciembre de 1866.

Auxilios para obras de riego (caudal mayor de 200 litros por segundo).—Ley de 27 de Julio de 1883.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Reglamento para la ejecución de la ley anterior.—9 de Abril de 1885.

Auxilios para obras de riego con caudal menor de 200 litros por segundo.—Ley de 7 de Junio de 1905.

Reglamento para la ejecución de la ley precedente.—15 de Marzo de 1906.

Auxilios para alumbramiento de aguas.—Real decreto de 5 de Abril de 1907 sobre auxilios del Estado para la investigación de aguas subterráneas.

Real orden de 1.º de Julio de 1908 fijando condiciones para otorgar el auxilio.

Real decreto de 28 de Junio de 1910 reglamentando la investigación y alumbramiento de aguas por el Estado y el auxilio de éste á los particulares á iguales fines.

Real decreto de 11 de Julio de 1911 declarando que las anteriores disposiciones no son aplicables á las aguas subterráneas correspondientes á terrenos y cauces de dominio público.

Construcciones de obras hidráulicas con destino á riegos y defensas y *encauzamiento de corrientes.*—Ley de 7 de Junio de 1911 para dichos fines.

Instrucción de 22 de Enero de 1912 para la aplicación de la precedente ley.

Juntas de canales de riego y pantanos.

Reglamento para la organización y régimen de las Juntas de obras de canales de riego y pantanos.—27 de Noviembre de 1903.

Puertos.

Ley de Puertos.—7 de Mayo de 1880.

Reglamento para la ejecución de la ley de Puertos.—11 de Julio de 1912.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

APENDICE

Hidrografía de España.

Los accidentes tan variados que presenta nuestro territorio, originan gran número de cuencas por las que circula una infinidad de ríos y arroyos. Esta riqueza en aguas no solo se refiere á la superficie, sino que se extiende también al subsuelo, siendo cada vez mayor el descubrimiento de corrientes subterráneas.

Importante es el conocimiento del sistema hidrográfico, toda vez que su aprovechamiento, bien entendido, da origen á una de las mayores fuentes de riqueza por los innumerables beneficios que reporta á la agricultura y á la industria.

Los tres grandes sistemas orográficos: Septentrional, Ibérico y Penibético, dan origen á cuatro vertientes á los mares que circundan la Península Ibérica.

A partir de las costas E. y S. el terreno se eleva prontamente, y á poca distancia de ellas se encuentran los Pirineos peninsulares y sistema Penibético, respectivamente. Estos accidentes determinan dos vertientes largas y estrechas, la Septentrional y Meridional.

Los ríos que circulan por la primera van á desembocar al Cantábrico, mientras que los de la segunda dan sus aguas al Océano Atlántico y al Mediterráneo.

A partir de las costas E. y O. el terreno empieza á elevarse, no tan rápidamente como en las N. y S., y las dos superficies que lo constituyen vienen á cortarse formando el sistema Ibérico, que tortuosamente de N. á S. va desde los Pirineos peninsulares al sistema Penibético. El mencionado sistema Ibérico origina otras dos vertientes desiguales, una E. y otra O., siendo esta última mucho mayor y, por consiguiente, menos rápida que la primera.

Dentro de estas dos vertientes se pueden hacer nuevas subdivi-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

siones, teniendo en cuenta las cuencas á que dan lugar las distintas cordilleras y ramales que en ellas asientan.

Así, pues, la vertiente oriental puede dividirse en tres partes: la primera está constituída por las diversas cuencas que forman los distintos ramales y contrafuertes que parten de los *Pirineos orientales;* forma la segunda parte la *Cuenca del Ebro*, y la tercera las distintas cuencas al S. de esta vertiente, á partir de la Cuenca del Ebro, parte ó *Región Austro-Oriental.*

La vertiente occidental se divide en cinco partes: considerando como primera parte de esta vertiente las variadas cuencas que se forman por ramales que salen del sistema Galaico-Astúrico, parte que por caer casi toda dentro de Galicia recibe el nombre de Región occidental de Galicia, estando constituídas las demás partes por las cuencas de los grandes ríos Duero, Tajo, Guadiana y Guadalquivir.

Puede formarse el siguiente cuadro:

Vertiente septentrional.

Vertiente oriental.....
- *1.ª parte.*—Vertiente de los Pirineos orientales.
- *2.ª parte.*—Cuenca del Ebro,
- *3.ª parte.*—Región Austro-oriental.

Vertiente occidental...
- *1.ª parte.*—Región occidental de Galicia.
- *2.ª parte.*—Cuenca del Duero.
- *3.ª parte.*—Cuenca del Tajo.
- *4.ª parte.*—Cuenca del Guadiana.
- *5.ª parte.*—Cuenca del Guadalquivir.

Vertiente meridional.

Vertiente septentrional.

Forman el perímetro de esta vertiente el mar Cantábrico, la parte de los Pirineos que por la derecha forma la cuenca del Bidasoa hasta el centro de éstos con el comienzo de los Pirineos peninsulares en el pico de Gorriti, y este último sistema desde el mencionado pico al cabo de Finisterre. Dentro de este perímetro se encuentran las provincias de Guipúzcoa y Vizcaya, íntegras; la de Santander, menos la prolongación meridional de la misma; toda la provincia de Oviedo; la parte N. de Lugo, y una pequeña porción del N. de las provincias de Navarra, Alava y Burgos.

La elevación, á partir de la costa, se efectúa en esta vertiente de una manera sumamente rápida, originando una zona larga y estrecha, todo lo que hace que los ríos que por esta región circulan sean torrentosos. Causa, á su vez, de esto es el que presten

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bastante beneficio á la industria y que se dificulte su aprovechamiento para riegos, circunstancia esta última que no causa grandes perjuicios por mantenerse el suelo en constante estado de humedad, debido á la escasa evaporación comparada con la gran cantidad de agua pluvial que cae sobre la vertiente que consideramos.

El primer río, procediendo de E. á O., es el Bidasoa. Su cuenca es pequeña y accidentada y está limitada por el ramal pirenáico que desde el collado de Izpegui se dirige al monte de la Rhune, por el estribo pirenáico que por el O. cierra el vallè de Alduides, por las faldas septentrionales del Pirineo, que desde los Alduides van á Gorriti y por el estribo que desde este último pico se dirige á la montaña de Jaitzquibel.

Las primeras aguas de este río tienen su origen en varios arroyuelos que nacen en el estribo que forma por el O. los Alduides y en los collados de Berderitz y de Izpegui; las aguas de estos arroyos, unidas á las del Maya, que nace en el collado de su nombre; y á las del Batanculi, discurren por Errazu, Maya Arizcun y Elizondo; á partir de este punto, principal población del Baztán, cambia el río su dirección S., que traía, en dirección SO., siguiendo luego por Irurita, Aniz y Almandoz, y al llegar á Santisteban de Lerin vuelve á cambiar de dirección, tomando la NO., metiéndose por estrechos desfiladeros y recibiendo nuevos caudales de agua de varios arroyos que descienden por Zubieta y Elorriaga; entra luego en el territorio de las Cinco Villas (Aranaz, Yanci, Echálar, Lesaca y Vera); sigue su curso por entre el monte Aya y el Commissari, á partir de donde ya entra en Guipúzcoa, y desde Chapitaleco-arria empieza á formar la linea fronteriza entre España y Francia; pasa luego este río por entre Irún (España) y Behovia (Francia), y formando varias islas, entre las cuales como más importante se encuentra la de los Faisanes, desemboca, formando una ría de poco fondo y escaso caudal, por entre Fuenterrabía (España) y Hendaya (Francia), lamiendo las faldas del Jaitzquibel.

Este río es vadeable hasta Vera.

Sus afluentes son de escasa importancia, y entre ellos se encuentran el Elorriaga y los arroyos Aranzati, Olaberría, Alzubide y Primant, que bajan de Irún.

La constitución geológica de los terrenos que forman su cuenca es la siguiente: los terrenos que se extienden por la parte alta de la cuenca pertenecen á los triasicos y jurásicos, la porción del centro al siluriano y al cretáceo los de la zona costera.

Al río Bidasoa siguen los menos importantes, el Oyarzun, el Urumea y el Orio.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Nace el primero en el monte Aya, en dirección NO., y pasando por Oyarzun va á desembocar, formando la ría y puerto de Pasajes, entre los montes de Jaitzquibel, por la derecha, y Ulía por la izquierda. Su curso es limitadísimo y su caudal, escaso, vadeable, siempre.

Nace el Urumea en el valle de Basaburúa Menor, en la provincia de Navarra, valle formado por las faldas occidentales de los montes de Goizueta; corre en dirección NO., pasando por Goizueta, y engrosando su caudal por una infinidad de arroyuelos, entra en Hernani; sigue de aquí á Astigarraga, llega al valle de Loyola y desemboca por San Sebastián en el sitio denominado La Zurriola, entre los montes Ulía, por la derecha, y el Urgull por la izquierda.

El Orio nace en la Peña Horadada de la sierra de San Adrián, corre en dirección Norte por Cegama, recibe varios arroyos que descienden de San Adrián y de los montes de Cerain y Mutilao, sigue á Yarza, donde cambia su dirección al E., y pasa por Beasain y Villafranca; por bajo de este último pueblo cambia algo en dirección al N., y después de pasar por otros pueblos menos importantes, llega á Tolosa, en el valle comprendido entre los montes de Erreizpe y Usturre por el E., y el elevado Hernie por el O. sigue luego su curso, haciendo varias inflexiones, y pasando por Irura, Villabona y Andoain, va á desembocar por entre montañas cerca del pueblo de su nombre, pasando antes por Usúrbil y siendo navegable hasta este último punto.

Entre los varios tributarios que recibe el Orio se encuentran el río Agaunza, que baja de las peñas de Aralar y desemboca por bajo de Villafranca; el Albistur, procedente del monte Hernio; el Araxes ó Azpiroz, que desciende del puerto de su nombre y afluye junto á Tolosa y el Berástegui. Los dos primeros ríos son afluentes de la izquierda, y de la derecha los dos últimos.

Sigue al Orio, en el orden expuesto, el Urola. Nace este río junto á la sierra de San Adrián, corre en dirección N. por Legazpia, Zumárraga, Villarreal, Azcoitia, Azpeitia y Cestona, y al llegar á Elosua cambia su dirección al E., baña el valle comprendido entre las villas de Azcoitia y Azpeitia, entra luego en un estrecho desfiladero y al pasar por Cestona vuelve á tomar su rumbo N. para desembocar por Zumaya en el Cantábrico.

Después del río considerado se halla el Deva. Tiene su origen en los montes de Arlabán, y siguiendo su curso en dirección N., riega el valle en que asientan Salinas de Leniz, Escoriaza, Arechavaleta y Mondragón, sigue luego á Vergara, Placencia y Elgóibar; entra luego en Alzola y Mendaro, y, por último, va á

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

desembocar en Deva, formando una no muy estrecha ría donde fondean embarcaciones menores.

Son afluentes del Deva el Aranzazu, que nace en la sierra de su nombre y afluye al Deva en el punto llamado San Prudencio, y el Hermua, procedente de los montes Elgueta y Ura, que va á desembocar al Deva, en el caserío de Málzaga.

Más importante que los ríos reseñados es el Nervión, cuya cuenca sigue á la del Deva. Hállase limitada ésta: al Oriente, por el estribo que desde las peñas de Amboto va al monte Arnao; al S., por las sierras de Urquiola, Gorbea, Orduña, Haro, Igaña y la de la Magdalena, de donde arrancan los montes de Urdunte, los cuales forman el límite occidental. Comprende esta cuenca una extensión de unos 1.930 kilómetros cuadrados, de los cuales corresponden 1.360 á Vizcaya, 392 á Alava, 146 á Burgos, y 32 á Santander.

El río Nervión se halla formado por tres: el Ibaizabal, el Nervión, propiamente dicho, y el Cadagua. El Ibaizabal tiene su origen de varios riachuelos que bajan de la peña de Amboto, corre al NO., pasa por Arrazola y Durango, recorriendo un valle ancho y despejado, continúa luego á Galdácano y se une en Echavarri al Nervión. Ibaizabal recoge aguas, entre otros varios, de los ríos Mañaria, procedente del Tejado de San Antonio de Urquiola, que desemboca por la izquierda, cerca de Durango; del Orobio, que baja del alto de Muniqueta y desemboca por la derecha, y del Arratia, que, naciendo en la peña de Gorbea, afluye al Ibaizabal por bajo de Lemona.

Baja el Nervión de la peña de Orduña, corre en dirección N., cayendo á corta distancia de su origen desde una altura de 100 metros en la hoya de Orduña por el sitio denominado Peña-Nervión, y después de atravesar la garganta de Delica entra el río en el valle de Orduña, sigue luego á Amurrio, y continuando su curso por Llodio, Areta y Arrancudiaga, entra luego en Miravalles, sigue á Arrigorriaga, y continúa, lamiendo las faldas del monte Ollargun, á unirse al Ibaizabal en el sitio anteriormente indicado. El río Altube, que nace en el bosque del mismo nombre y se une al Nervión en Areta, y el río Ceberio, que riega el pequeño valle de su nombre, son los principales afluentes del Nervión.

Ya unidos el Ibaizabal y el Nervión en Echavarri, pasa el río así formado dando varios rodeos por un valle profundísimo y va á desembocar por entre Portugalete y Las Arenas, formando el Abra de Bilbao. Es navegable hasta el mismo Bilbao, en un curso de unos 11 kilómetros.

El río Cadagua nace en la cordillera Pirenáica, en la Peña

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de la Magdalena (Burgos), riega el valle de Mena, pasa á Vizcaya por el pie del monte Berrón, toca en Valmaseda, Sodupe y Alonsótegui y deposita sus aguas en el Nervión, junto á Burceña. Afluente del Cadagua es el Arciniega, que, descendiendo de la villa del mismo nombre, va á unirse al Cadagua, por la derecha, en Sodupe.

La cuenca del Nervión se extiende en totalidad sobre el terreno cretáceo, teniendo una pendiente media de 0,008.

Al O. del Nervión, y limitando su cuenca general y la provincia de Vizcaya, corre el río Somorrostro. Nace éste al pie del cerro de San Sebastián de la Colisa, recorre los valles de Arcentales, Sopuerta y Somorrostro, desemboca en el Océano, junto á Múzquiz y Pobeña.

Al Somorrostro sigue el Agüera, también de escasa importancia. Nace en la sierra de Tejada, recorre en dirección N. el valle de Trucíos, y después de los lugares de Villaverde y de Agüera de Trucíos, entra en el valle de Guriezo y va á desembocar en el Cantábrico, formando la ría de Oriñón.

Sigue al Agüera el Asón. Sale éste de una cueva en el Moncrespo, riega la cañada de Asón y los pueblos de Arredondo, Ramales, Gibaja, Ampuero y el rivero de Limpias, y á los 30 kilómetros de su rápido curso, y encajonado entre montañas, va á desembocar formando la ría de Santoña. El río Rustablado que afluye en Arredondo, el de la Gándara en Ramales y el Carranza en Gibaja, son afluentes del Asón.

Encuéntrase después del Asón el Miera. Tienen origen sus aguas cerca del Portillo de Lunada, al pie de Castro de Valnera y al E. de las montañas de Pas; marcha en dirección N. por estrecho y encajonado valle, formado por la divisoria entre él y el Pas y por el Senderón; pasa por el resbaladero de Lunada, Pontones, San Roque de Riomiera, Miera y Liérganes, donde cruza el Escudo de Cabuérniga; continúa por Los Prados, Caseñas (al O de Entrambasaguas), Solares y Cubas y va á desembocar en la bahía de Santander. De sus afluentes sólo merecen citarse el Riaño, que riega á Entrambasaguas, y el Tuerto, provinente de la falda del monte y puerto de Alisas, que corre en dirección NO. y vierte en el Miera por La Cavada.

Inmediatamente después del Miera está el río Pas. Provienen sus primeras aguas de las laderas septentrionales de la parte de los montes Vasco-Cantábricos, comprendida entre el puerto de de Bustavernales y el portillo de Ocijo, y de las caídas á Occidente de la alta y escabrosa loma que, arrancando de dicho portillo, se dirige al N. por entre Villacarriedo y San Roque de Riomera separando la cuenca de éste de la del Pas. Tiene origen al pie de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Castro de Valnera y corre al NO. para pasar por el pueblo de Vega de Pas, continuando por el valle de Pas, bajo el rumbo de E. á O., hasta la confluencia con el Lueña, de donde tuerce rápidamente al N., entra en el valle de Toranzo, y por Santiunde de Toranzo se dirige á Corvera, y de aquí á Vargas, Renedo, Quejano y Mogro, desembocando por la ría de este nombre en el Cantábrico. Por la margen derecha recibe aguas del río Pisueña, que nace al pie del monte La Redondillla y se dirige por Selaya, Villacarriedo y Santa Maria de Cayón al S. de Vargas y Socovío, por entre cuyos dos pueblos vierte en el rio Pas, y por la orilla izquierda, en Entrambasmestas, recibe el Lueña, que baja del puerto de la Magdalena.

Más extensa que la de los anteriores es la cuenta del río Besaya; nace en la llamada fuente del Besaya, á los tres kilómetros al N. de Reinosa, no lejos del poderoso manantial de Fontibre, corre en su principio en dirección E. á O. hasta Aldueso, y de aquí tuerce al N. por un estrecho y áspero valle hasta Bárcena de Pie de Concha, recogiendo aguas de las numerosas arroyadas que á él se dirigen y tocando en Lantueno, Santiurde de Reinosa, Pesquera y Pie de Concha. Desde Bárcena de Pie de Concha entra el río en un valle algo más espacioso y de menor pendiente, corriendo por Helguera de Iguña, Santa Cruz, Las Fraguas y Los Corrales, en donde el valle ensancha considerablemente, penetrando á poco en la Hoz de Buelna, donde cruza el Escudo por las Caldas. Desde éstas continúa siempre su rumbo al N. por Cartes y Torrelavega, y al N. de la Requejada forma la ría de Suances, por la cual vierte en el Cantábrico. Principal afluente de este río es el Saja. Nace en los puertos de Sejos y en Peña Sagra, elevadísima montaña unida á la cordillera, corre en dirección N. á Correpoco, baña el valle de Cabuérniga, y por Ontoria, después de haber cruzado el Escudo, se dirige á Torrelavega, donde confluye con el Besaya.

La cuenca de este río se halla constituída por terrenos triásico, jurásico y cretáceo.

Del Escudo de Cabuérniga se desprenden varios arroyos de escasa importancia que vierten directamente al mar por Toñanes, Tranega, Comillas, hasta San Vicente de la Barquera, en cuyo sitio afluye el Nansa. Nace éste en las faldas occidentales de los puertos de Sejos, riega primero el Valle de Polaciones, pasa por la garganta de Bejos, formada por una angostura de rocas, y entra en el Valle de Tudanca, pasando por Santotis y Sarceda; corre luego por el valle de Nansa, cruza el Escudo por Obeso, pasa por bajo del puente de Celis, y atravesando los valles de las Herrerías y de San Vicente, entra el Nansa en el Cantábrico, forman-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

do el insignificante puerto de Tina Menor á 8 kilómetros de San Vicente de la Barquera. En el valle de Nansa recibe los dos principales afluentes suyos: el Vendal, por la izquierda, y el Quivierda, por la derecha, los cuales bajan del Escudo de Cabuérniga.

La cuenca del río Deva, que sigue al Nansa, se halla limitada: al E., por el estribo divisorio con el Nansa, estribo que desde Peña Sagra va al Monte Aria, en el Escudo de Cabuérniga; al S., por la cordillera, desde Peña Labra hasta el arranque de las peñas de Europa, y al O., por la cordillera de Cuera, paralela á la principal. Esta cuenca comprende parte de las provincias de Santander, Oviedo y León. Nace el Deva en Fuente-Dé, en un manantial situado en la provincia de Santander, en las vertientes meridionales de los Picos de Europa, por debajo de Peña Vieja. A poco de su nacimiento se precipita en forma de cascada; cambiando su dirección S. que lleva en Pido, se dirige á la hoya de Potes por Cosgaya y Baró; baña á la villa de Potes y en ella vuelve su dirección al N., corriendo por el valle de Cillorigo, y tocando en Bedoya va á atravesar el Escudo de Cabuérniga por La Hermida. Toda la porción de cuenca, desde su nacimiento hasta este punto, forma el territorio conocido con el nombre de La Liébana, que es una inmensa hoya, notable por lo escabroso de su suelo y, por tanto, por lo rápido de sus pendientes, de lo cual puede formarse ligerísima idea teniendo en cuenta que Potes, que próximamente se halla en su centro, tiene una altitud de unos 299 metros, y éste se encuentra á 14 y 18 kilómetros de Peñas Prietas y de Cerredo, cuyas altitudes son, respectivamente, 2.678 y 2.529 metros.

De la Hermida, donde hemos dejado al Deva, sigue su curso, entrando á poco en Asturias, corriendo en ésta por Ciliergo, Siego y Narganes, y sirviendo luego de límite entre Santander y Oviedo, desemboca en el Cantábrico por la ría de Tina Mayor. Recibe por la derecha los afluentes Quiviesa y Valdeprado, cuyo curso desarrollan ambos por La Liébana, tomando sus primeras aguas el Quiviesa en el puerto de Arioz y confluyendo en Potes, y naciendo el Valdeprado en el collado de Piedras Luengas, entra en Peñas Blancas y Peña Labra para verter en el Deva, un kilómetro aguas arriba de Potes. Por la orilla izquierda recoge las aguas del Carés, encajonado entre los Picos de Europa y la sierra de Cuera, montañas de las cuales proceden la casi totalidad de sus aguas, tienen su origen en Valdeón (provincia de León) y vierte en el Deva por Ciliergo (provincia de Oviedo), en la cual tiene casi todo su cauce. Los terrenos de transición, principalmente el carbonífero, forman la cuenca del Deva, menos una pequeñísima porción en su desembocadura, constituída por el cretáceo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

De la cordillera de Cuera se desprenden varios riachuelos que dan directamente sus aguas al Cantábrico. Son los principales el río Cabra ó Santiuste, que afluye en la Tina de Oeste, el Braña, que desemboca en Punta Pendueles, el Purón en Punta de Ballota, el Carrocedo que lo hace en Llanes, el Niembro junto al cabo Prieto y, finalmente, el Vega, cerca de Ribadesella.

La cuenca del río Sella está ceñida por el E. por la cordillera de Cuera y la serie de cerros que desde los Picos de Europa se dirigen al N. á enlazar con ella, cerca de Robellada; al S. por una parte de la sierra de Cuera, desde las Fuentes de Carés á las del Sella, y al O. por el cordal de Ponga, la sierra de Peñamayor y otros. El grueso de los partidos de Cangas de Onís y de Infiesto, en Asturias, forman la región hidrológica del río. Tiene su nacimiento en el valle de Sajambre, hoya muy elevada, situada en el sistema Septentrional; en la primera parte de su curso el valle del Sella está constituído por angosturas asperísimas de rocas. Corre al N. extendiendo su lecho por la provincia de Oviedo y tocando en esta provincia en los pueblos de Casielles, Mian, Sauces, Cangas de Onís y Las Arriondas; en este punto se le une el Piloña, y desde la confluencia cambia el rumbo al NE., siguiendo por Bode, Margolles y Junor á desembocar en la ría de Ribadesella, formando uno de los mejores puertos de aquella costa, abierto al pie del cerro Guía. Por la derecha llegan al Sella los afluentes Dobra y Güeña, proviniendo el primero del extremo oriental de los Picos de Europa y desaguando en el Sella, poco después de Cangas, y el segundo, del lomo divisorio de la cuenca del Sella que enlaza los citados picos con la sierra de Cuera y corriendo al O. desde Onís hasta su confluencia con el Sella, junto á Cangas. Este último río recibe á su vez el Deva ó Diva, que nace en la parte superior del monte Auseva. Los afluentes del Sella por la parte izquierda son el Ponga y el Piloña, corriendo aquél por entre el cordal de Ponga y el de Arcenorio para confluir con el río principal en Sames, y el Piloña, por Infiesto y Castiello, desaguando por Las Arriondas.

En cuanto á la naturaleza geológica de los terrenos que forman la cuenca del Sella, se halla su casi totalidad constituída por el terreno carbonífero, excepto la parte N. de las cuencas de sus afluentes Piloña y Güeña, que se asientan sobre la formación cretácea.

Entre el Sella y el Nalón se forma una vertiente en forma de herradura por la que circulan con curso independiente varios riachuelos. Entre ellos el río de la Espasa, que nace en el Monte Sueve y desemboca en el mar, cerca de Goviendes; el río de Colunga, que desde los montes de Piloña baja á Colunga y des-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

emboca en la bahía de Lastres; el río Linares, que nace en las faldas septentrionales de la sierra de Peón y Monte Arbazal y desagua en la ría de Villaviciosa; el río España, que desagua junto á Villaverde; el río Cutre, que bajando del monte de la Taña afluye al Océano, junto á Gijón; el río Piles, que desemboca cerca del cabo de Torres, y, finalmente, el río Aboño, que da sus aguas al mar en Candás.

La cuenca del Nalón se encuentra limitada al E. por el cordal de Ponga, Peyamayor, montes de San Bartolomé, de Nava, de Pandenes, de Muñoz, de Pravia y de Posada; al S. por los Montes Cantábricos y la sierra de Picón, y al O, por Valdebueyes, sierra de Valledor, Orua, el Palo, Fonfaraón y la sierra de Tineo. La región central y meridional de Asturias es la parte comprendida por esta cuenca. El Nalón nace en el puerto de Tarna, situado éste en el confin de Asturias con León, desciende desde su nacimiento en dirección E., pasando por el escabroso barranco entre el cordal de Ponga y los montes de Valverde y Retriñón, sigue por Campo de Caso y Pola de Labiana, donde entra en un valle menos árido, continúa á Sama, término de Tudela, y entra en la vega de Grado, por donde pasa por entre las llamadas peñas de Peñaflor. Cambiando de rumbo al N., pasa el rio Nalón por Pravia y va á desembocar á poco en el Cantábrico por entre Muros y Arenas, formando la ría de Pravia.

Los principales afluentes del Nalón son los siguientes: el río de Lena ó Caudal, que, naciendo junto al puerto de Pajares, desciende en dirección N., pasa por Pola de Lena y Mieres, entre cuyas dos villas recibe el río Aller por su derecha, río provinente del puerto de Vergarada, que afluye al Nalón por su izquierda; el río Trubia, que nace en las montañas de Agueria y aumentando su caudal por las aguas de las fuentes de los Guirrafes baja á Trubia, se une al Nalón. El río Cubia, que nace en las faldas septentrionales de la sierra del Picón, cerca de Montovo, pasa corriendo, primero al NO. por la Granda de Ríosouzo, Fuente Narcea y La Vega, cambia en este punto al N., pasando por Cangas de Tineo, donde se une por la derecha el río Naviejo, por Jarceley, donde por la izquierda afluye el río Arganza, por Sorriba, cerca de cuyo sitio se le une el Geta, y se va á unir al Nalón por su izquierda en Ambas-Mestas. Por la derecha del Nalón afluye el Nora, río que, corriendo al N. de Oviedo, va á desaguar al Nalón por Santa María. La inmensa mayoría de la cuenca del Nalón se extiende sobre el terreno de transición, perteneciendo al período siluriano los del Occidente de aquélla, al devoniano los del Centro, N. y S., y al carbonífero los del SE. Un pequeño manchón

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cretáceo corre también por Oviedo y parte de la cuenca del afluente Nora.

Siguen al Nalón otros dos ríos insignificantes y de curso independiente: el río Bárcena y el Negro. El primero nace en Faraón y unido al Mugazón y al Mañesa, procedentes éstos de las sierras de Tineo y de las Palancas, desagua en Canero, cuyo nombre toma también el río. Nace el segundo en el Estoupo y corre al NE. á Luarca.

Las cuencas de los ríos Navia y Eo hállanse limitadas: al E., por la divisoria con el Nalón; al S., por la cordillera Cantábrica, desde el arranque con la sierra de Picón hasta la de Cebrero, y al O. por la misma Cantábrica hasta el cordal de Neda y las sierras de la Cadeira y monte Mondigo.

Nace el Navia en las vertientes septentrionales de la sierra de Cebrero, provincia de Lugo, y con el nombre de Piedrafita corre en su principio al N. por San Andrés de Nogales, Cruzul á Becerreá; aquí cambia su dirección por la del NE. y sigue por Cervantes, Ribera y Puebla de Navia á Ribeira, punto en el cual deja á Lugo y penetra en Asturias, por cuya provincia discurre un corto trecho, hasta Peña Nogueira, en que de nuevo vuelve á Lugo, continuando por Oubiaño, Nogueira y Hermes ó Hernes á la confluencia con el río Porto. En esta confluencia abandona definitivamente á Lugo, y dentro de Asturias continúa por Trelles, á desembocar por la ría de Navia. De entre los afluentes que recibe por la margen derecha distínguense el Cancelada, que baja de Peña Rubia (Lugo); el Ser, que nace en Peña Guiña y confluye al SO. de Puebla de Navia, y el Ibias, cuyo origen se halla en Asturias, al O. del puerto de Leitariegos, y vierte en el Navia, frente á Oubiaño. Por la orilla izquierda llegan al Navia el Cruzul, que afluye en el pueblo de su nombre; el Suarna, cuyas aguas provienen de las faldas orientales de Piedras Apañadas, del Muradal y de los Tejos, y el Trabada, que nace en el pico de Bobia y desagua al S. de Illano (Oviedo). La cuenca toda del Navia se extiende por terrenos de transición, pertenecientes en su mayoría al período siluriano.

El Eo pertenece más á Galicia que á Asturias, puesto que tiene su nacimiento en el monte de Cadebo, provincia de Lugo, y por ésta corre de S. á N., tocando en Braña, Martín, Piquin, Villarmide, Villaboa, Santiago de Villaodrid y Alto de San Tirso, cuyo cerro rodea por O. y N., al propio tiempo que entra en Asturias, marchando un corto trecho por esta provincia hasta el N. de Abres, en que comienza á servir de línea límite entre las de Lugo y Oviedo, papel que desempeña hasta su desembocadura por la vega de Ribadeo. Son afluentes el Rodil, que baja de las Piedras

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Apañadas y desagua cerca de Piquin, y otros arroyos de escasa importancia.

Por último, los Pirineos peninsulares, en su última parte, al formar la costa, dan lugar con sus diversos ramales á cuencas de ríos insignificantes, tanto por su corto curso como por su escaso caudal.

Son éstos, entre los más importantes: el Masma, que, naciendo en las faldas de Cuadramón y pasando por Estelo y Tronceda, nombres que también lleva el río, forma la ría de Foz; el río del Oro, que nace en el mencionado pico de Cuadramón, pasa por Lagoa, Bacoy y Santa Cecilia y se une al mar en Villarmea; el río Landrove, que desde Peña Gistral corre á Miñotos, Landrove y Vivero, donde desagua, formando la ría de su nombre; el río Sor, que, bajando del pico de Bustelo, afluye en el puerto del Barquero; el río Mera, que, viniendo del Monte Cajado, va á la ría de Santa Marta; el río Jubia, que por un valle pintoresco llega cerca de Neda, donde empieza la ría de El Ferrol; el río de Porto de Cabo, que desemboca en la ría de Cedeira; el Eume, que, naciendo entre las sierras del Gistral y de Corba, pasa por Muras, Ribadeume, Bermúy, cerca de Eume, y Puentedeume, formando desde este punto la ría de Ares. Esta ría es parte de la de Betanzos, en cuyo fondo está el puerto de Sada, junto al que desemboca el río Mandeo, procedente de la Coba da Serpe. Siguen luego el río Mero, que, naciendo en las faldas Septentrionales de los montes de Tieira, de Castro Mayor y de Jalo, da sus aguas en Pasaje á la ensenada de La Coruña; el río Allones, que nace frente á La Coruña, pasa por Baños de Carballo y desagua en la ría de Lage, y, por último, el río Puerto, que, teniendo sus fuentes en el pico de Bubela, baja al O. por Gándara, Vamiro, Carantoña y Cereijo y da sus aguas á la ría de Camariñas.

Vertiente oriental.

Vertiente de los Pirineos orientales.—El perímetro de esta primera parte de la vertiente oriental está limitado por el Norte por la cordillera Pirenaica y la importante estribación de la misma, conocida con el nombre de sierra de Cadí; por el E. y S., por el Mediterráneo, y por el O., por la sierra de Prades, que forma la divisoria de aguas entre el campo de Tarragona y la cuenca del Ebro, subiendo hasta la vertiente occidental de Montblanch, desde donde se dirige al NE., con distintas denominaciones, á incorporarse á los Pirineos en el Coll de Mayans y Vermadell, á la derecha de Puigcerdá. Dentro de este perímetro se hallan encerradas las provincias de Gerona y Barcelona, íntegras, y la parte Nordeste de la de Tarragona.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La multitud de ramificaciones pirenaicas que en esta vertiente existen, ramificaciones todas ellas ásperas y relacionadas entre sí por sierras que van de unas á otras, hacen bastante escabroso el suelo de la misma, presentando el conjunto una serie de montes, hoyadas, vallecillos y gargantas. Esta misma escabrosidad del suelo hace que existan abundantes corrientes, algunas de ellas de relativa importancia.

La cuenca del Muga, primer río que se encuentra procediendo la descripción de N. á S., está limitada por las vertientes meridionales del Pirineo, desde la proximidad de Horts hasta el cabo de Creus, y de las septentrionales, de un estribo que desde el Campalet del Príncipi divide sus aguas de las del Fluviá, formando el Alto y Bajo Ampurdán. Nace el río Muga en las vertientes meridionales del Pirineo, próximo á Horts, en el punto llamado Casa de la Palla y á más de 1.600 metros de altitud, pasa por San Lorenzo de Muga y, encajonado por ásperas montañas, sigue á Buadella y Pont de Molins; pasado este último punto, el terreno va despejándose, siendo completamente llano en la proximidad de Cabanas, donde se le une el río Llobregat; sigue después á Vilanova y Castellón de Ampurias, y, finalmente, va á desembocar en unas lagunas próximas al mar. Son afluentes principales el río Llobregat, que, naciendo al pie de Bellegarde, en el Coll de Portus, va á unirse en el sitio antes mencionado; el Algama, Mañol, Ricardell, Orlina, Merlans y otros. Los terrenos hipogénicos y cretáceos son los pertenecientes en el orden geológico á la cuenca del Muga. A esta cuenca sigue la del Fluviá, limitada por las sierras de Basagoda y Llorona, un pequeño trozo de los Pirineos, desde el Campalet del Príncipi hasta el Mont Costa Bona, y un ramal que desde este punto principia, corriendo al S., tuerce luego al E. y va á terminar en el llano de Ampurdán. Toman origen sus aguas al pie del Grau de Olot, villa situada en el fondo de un vallecito, y pasa en sus dos primeros tercios por un terreno sumamente accidentado, yendo por Castellfullit y Besalú y entrando en desfiladeros tan escabrosos como el del Basáltico. Abierto después el terreno, sigue el Fluviá por Báscara y por San Pedro Pescador, y cerca de este punto va á dar sus aguas al golfo de Rosas. Su caudal es bastante crecido, dado el corto trayecto que recorre, y sus avenidas son frecuentes. El aprovechamiento de sus aguas se refiere á usos industriales. Recibe como principales afluentes, el Llera, que desciende de Collit, y el Cos, que, bajando del Grau, se une en Farás al Fluviá. Geológicamente considerada su cuenca, pertenece ésta á terrenos de transición en su origen, y la mayor parte de ella á los numulíti-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cos, excepto en las proximidades de su desembocadura, que pertenece á terrenos modernos.

Más importante que los anteriores es el Ter. Ciñen la cuenca de este río las sierras de Rocacorba, del Grau de Olot, de la Magdalena, del Munt y de San Antonio, sierras que separan su cuenca de la del Fluviá, las sierras meridionales del Pirineo, desde Collit al Coll de Finistrelles, y la sierra de Nuestra Señora de Nuria, desde el arranque de la de Cadí. El nacimiento de este río tiene lugar en los Pirineos, junto al Mont Costa Bona y cerca de la laguna de Carene, provincia de Gerona, baja por Setcasas á Camprodón, sigue luego por terrenos quebrados á pasar á San Juan de las Abadesas y Ripoll, continúa á Montesquiú y corre por una especie de ancha grieta á Roda; ya en este pueblo, cambia al Este, prosigue su curso por una larga garganta formada por contrafuertes, unos del Grau de Olot y otros del Monseny, y pasando cerca de Amer toca luego en Gerona; desde esta capital sigue el Ter bañando á San Julián de Ramis, Colomes, Hunges y Torroella de Montgrí, y cerca de este pueblo da sus aguas al Mediterráneo, frente á las islas Medas. Su caudal es mucho más considerable que el de los ríos anteriores y sus avenidas son frecuentes y de sensibles efectos. El río Ritort, que desemboca en Camprodón; el Fresser, que, naciendo al S. de Nuestra Señora de Nuria, afluye en Ripoll; el río Gurrí, que, bajando de la divisoria al S. de Monseny y pasando Vich, se une al Ter en las inmediaciones de Roda, y, por último, el Onya, que, descendiendo de Brugnola y San Martín de las Esposas, en los montes de Gabarras, da sus aguas al Ter en Gerona, son los principales afluentes de este río. El primer trozo de su lecho se halla sobre terrenos primarios hasta Camprodón, donde entra el numulítico, que sigue hasta Gerona; salva la cuenca carbonífera de San Juan de las Abadesas, y desde dicha ciudad corre por formaciones postpliocenas hasta su desembocadura.

De escasa importancia es el río Tordera. Nace en las vertientes occidentales de Montseny, corre al E. al principio por Palau-Tordera y San Celoni; en este punto cambia hasta la fortaleza de Hostalrich, yendo á desembocar en el Mediterráneo, junto á Malgrat. Por la derecha sólo recibe arroyuelos de poca importancia, y por la izquierda el más considerable es el de Santa Coloma, que, naciendo junto á San Hilario, se une al Tordera por bajo de Hostalrich.

La cuenca del Besós, que sigue al Tordera, es lo que generalmente se denomina El Vallés, comarca que presenta el aspecto de una llanura con varias ondulaciones, fertilizada por los riachuelos que afluyen al Besós. Este tiene su origen en las vertientes

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

occidentales del Montseny y en las meridionales del Puig Graciós; corre por el Congost y, enriquecido su cauce por las aguas de un sin fin de arroyuelos, pasa por el angosto desfiladero de Moncada, y al salir de él desemboca en el mar. Recoge aguas del Tenes, que pasa por Riells y Llisá; del Caldas, que baja de San Feliú de Codinas por Caldas, y el Ripollet, que lo hace de San Llorens y pasa cerca de Sabadell, y el Mojent, que se le une en Montmaló.

El río Llobregat, el más importante después del Ter de los de esta región, tiene formada su cuenca por los montes que por el Sur limitan la del Ter, desde la sierra de Cadí al cabo Bagur, y por los de aquella misma sierra, que se prolongan al O. con el nombre de sierra de Compte, hasta la de Prades, cuyo ramal E. forma también parte de la cuenca que consideramos. El río Llobregat tiene su nacimiento cerca de Castellar de Nuch, al pie de la sierra de Cadí, entre el Coll de Jou y el de Tosas; atraviesa toda la provincia de Barcelona de NE. á SE., y en su N. pasa encajonado por estrechos valles, en cuyas abruptas laderas han abierto profundo surco sus afluentes. En su recorrido pasa los pueblos Guardiola de Berga, Obiols, Gironella, Puigreig, Valsareny, Sellent, Monistrol, Martorell, Molins de Rey y San Feliú de Llobregat. Entre Papiols y Molins de Rey el caudal del río disminuye á causa de las derivaciones para riegos, de las condiciones de permeabilidad del suelo y de la poca velocidad de la corriente y gran amplitud de su lecho; pero cuando cesan estas circunstancias, lo cual acontece desde San Feliú de Llobregat hasta la desembocadura, vuelve á adquirir parte del caudal perdido, recogiendo, acaso por filtraciones, algunas de las aguas empleadas en los riegos, como lo prueban aforos diversos practicados en distintas ocasiones. Tiene como principales afluentes el río Cardoner que pasa por Cardona y Manresa, y la riera de Noya, que, naciendo como el Cardoner, en la divisoria del Segre, llega á unirse al Llobregat, junto á Martorell, pasando previamente por Igualada, Capellades y San Sadurní. El lecho del Llobregat se apoya en casi toda su longitud sobre el terreno numulítico, excepto en las proximidades de su desagüe, en que lo hace sobre terrenos de reciente origen, descansando en formaciones primarias.

Al S. del Llobregat se extiende la fértil comarca del Panadés, cruzada por varios riachuelos, entre los cuales merecen mencionarse el río Foix, que sirve de límite occidental de la provincia de Tarragona con la de Barcelona. Nace cerca de Fontrubí, y después de bañar una parte del territorio de Villafranca de Panadés y pasar por otros pueblos menos importantes, va á dar sus aguas al mar.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

De los montes de Montagut desciende el torrente de su nombre, que pasa por Vendrell, y el río Gallá, que, naciendo en Santa Coloma de Queralts en terreno numulítico, que deja á corta distancia de su origen, entra en el triásico, y desde Pont de Armentera marcha por el mioceno hasta su desembocadura por La Pedrera.

El río Francolí nace al N. de Espluga, pasa por Montblanch y, en dirección S., entra en el campo de Tarragona y vierte en el mar, un kilómetro al S. de esta población. Recibe como principal afluente el Ánguera. Excepto un pequeño trozo cerca de Vilavert, en que el terreno pertenece al orden triásico, lo demás de la cuenca de este río está formado por terreno terciario.

Cuenca del Ebro.—La cuenca del Ebro tiene por límites: por el N., los Pirineos centrales y occidentales, es decir, desde la Cerdeña, donde se desprende la sierra de Cadí, hasta los Alduides; por el E., la sierra de Prades, que la separa del campo de Tarragona y que se enlaza hasta el Montblanch con los que arrancan de los Pirineos en el Coll de Mayáns y Vermadell, á la derecha de Puigcerdá; por el S., la costa mediterránea y las sierras de Ulldecona, puertos de Beceite y sierras de Morella y Cantavieja, hasta la de Gúdar, donde puede decirse que comienza el límite occidental de la cuenca, determinado por el grupo Ibérico. La superficie total de la cuenca es de 83.530 kilómetros cuadrados, casi la sexta parte del suelo de España, y comprende totalmente las provincias de Álava, Logroño, Huesca, Zaragoza y casi toda Lérida, más ó menos parte de las de Santander, Burgos, Navarra, Soria, Teruel, Castellón y Tarragona, y partes insignificantes de Palencia, Guadalajara, Gerona y Barcelona. El mayor ancho de esta cuenca, contado desde Andorra á Cantavieja (Teruel), es de 270 kilómetros, y su longitud, medida en línea recta desde Peña Labra hasta la isla de Buda, es de 520 kilómetros.

De los reconocimientos y estudios hechos sobre este río por el ingeniero Sr. Mesa, resulta que el origen del Ebro es puramente convecional. La mayoría de los autores suponen en los manantiales de Fontibre. Este atraviesa á Reinosa, y recogiendo las aguas de otras abundantes fuentes allí existentes, va á incorporarse por debajo del pueblo con el río Híjar, así llamado porque baja de los puertos de Híjar y Peña Labra, origen del valle del Ebro y origen, según la opinión del mencionado Sr. Mesa, del río que lleva este nombre.

Admitiendo con el Sr. Mesa que el río Ebro tenga su origen en el punto donde el Híjar empieza á llevar su nombre, que es en el puente de Riaño, cuya altitud sobre el nivel del mar es de 988 metros, mientras que el de Fontibre es de 880, este río, en su principio, corre por valles angostos y profundas cortaduras, entra en

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el valle de Revibre, pasando en este valle por Quintanilla Escalada; corre luego la garganta de Valdenoceda, y tras ella entra en el valle de Valdivielso, valle cerrado por la sierra de Tesla, por la izquierda, y por la derecha, por el páramo de Villalta; sale de este valle por la angosta y agreste garganta de La Horadada; á poco entra en el valle de la Tobalina, limitado por los Obarenes, por su derecha, y por su izquierda, por estribos de la Cantábrica; sale de este valle por la garganta de Besantis ó de Sobrón, garganta formada por escarpadas pendientes de cortada peña, y tras dicha garganta aparece el valle de Miranda, bastante más ancho que los anteriores. Cierran el mencionado valle por su derecha los Montes Ovarenes, y por su izquierda, los de Sopeña y los de Victoria. Pasa el Ebro en este valle por Puentelarrá y Miranda y sale de este cuarto valle por la garganta de las conchas de Haro, pasada la cual empieza á correr por el ancho valle de la Rioja. Ciñen á este valle, de un lado, un trozo de la Cordillera Ibérica, y del opuesto, las sierras de Toloño, Cantabria y sus prolongaciones. Los pueblos principales de la Rioja por los que el Ebro pasa, son: Haro, San Vicente de la Sonsierra, entre Cenicero y Elciego; entre Fuenmayor y Puebla de la Barca, Logroño; entre Lodosa y Alcanadre, Calahorra, Rincón de Soto, y, finalmente, por entre Milagro y Alfaro. Sigue luego en su casi general dirección de SE. por Castejón y por Tudela, y á poco entra en el páramo central de Aragón, compuesto de mesetas, vallecitos y pequeñas montañas, y pasando por entre Tauste y Gallur y por Alagón, llega luego á Zaragoza. Tras esta capital sigue el río por otros pueblos del páramo central, entre los cuales se encuentran Pina de Ebro, La Zaida, Escatrón y Caspe, siendo éste el último pueblo del mencionado páramo. A poco de salir de Caspe principia á meterse por un largo desfiladero formado por los montes de Prades, y sus ramificaciones por la izquierda y por los puertos de Beceite, y las suyas por la derecha y por un terreno sumamente abrupto, estrechándose considerablemente su cauce. Esta larga garganta, de unos 100 kilómetros, se abre algo de vez cuando, dando lugar á pequeños valles, donde asientan pueblos como los de Fayón y Mora de Ebro. Abierto el terreno por su orilla derecha, vuelve á reaparecer el valle y pasa el río por Cherta, después por Tortosa, y ya en terreno llano, llega á Amposta, empezando á poco los terrenos bajos y pantanosos. Filtrase el agua por entre las arenas, disminuyendo considerablemente su profundidad, y, finalmente, se divide la corriente en dos pequeños brazos que dan sus aguas al Mediterráneo.

La longitud total del Ebro es de 928 kilómetros, y su anchura en los desfiladeros no llega en ocasiones á 100 metros, si bien pa-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sado Amposta llega á ser superior á 300 metros. La pendiente de este río en la primera parte de su cuenca es bastante crecida; desde Tudela á Zaragoza es de unos 0,008 metros, y desde esta última ciudad hasta la costa, de unos 0,005 metros.

Considerando que el desarrollo total del Ebro es de 900 kilómetros, la pendiente media del mismo, supuesto el origen en el puente de Riaño, cuya altitud es de 988 metros, resulta ser de 0,0011; según aforos practicados por el Sr. Mesa, el caudal de este río en el estiaje es próximamente el siguiente: de 1,287 metros cúbicos por segundo en Fontibre, 1,308 en Reinosa, 5,010 en Bárcena, 20,260 en Miranda, 31,166 en Logroño, 45,230 en Tudela, 28,315 en Zaragoza y de 111,096 en Mequinenza, antes de la confluencia con el Segre, y después de ella, de 135,694.

En cuanto á la naturaleza geológica de los terrenos que constituyen su cuenca, no es tan variada como fuera de suponer, dada la longitud de aquél y lo salpicada que se halla España de formaciones de todas clases. Su origen tiene lugar en terrenos secundarios, y por ellos marcha hasta Haro, donde entra en la gran cuenca miocena que se extiende por las bajas vertientes de uno y otro lado del Ebro, en que de nuevo vuelve á penetrar en terrenos secundarios, y los sigue hasta su desembocadura, salvo en el delta y algún otro manchón como él, formados por los aluviones del mismo.

El primer afluente importante de la izquierda es el Zadorra. Su cuenca está limitada por el Pirineo, desde la sierra de San Adrián hasta la peña de Gorbea, por un estribo que, arrancado de ésta en dirección perpendicular, va á unirse con los nombres de sierras de Arrato y de Bazaya á la de Vitores, y, finalmente, por las sierras de Andía y de Toloño, unidas en su región media por los montes de Izquiz.

Nace el Zadorra en las vertientes septentrionales de los altos de Lucía, de la sierra de Andía; pasa á poco de su origen por Salvatierra, y en dirección NO. llega á Ulibarri-Gamboa. Cerca de Arlabán cambia al S., hasta llegar á unírsele el río Alegría, donde vuelve á cambiar al SO., pasando luego por cerca de Vitoria y por Nanclares de Oca, Puebla de Arganzón y Arce.

Atraviesa los montes de Vitoria por bajo de Nanclares, y torciendo luego al S., va á unirse al Ebro, después de recoger las aguas del río Ayuda. Este último río nace en los montes de Izquiz, y en éstos, en el llamado de Arlucea, corre por Marquínez y Armentia, riega luego el valle donde asienta el Condado de Treviño, riega dentro de este Condado á Pariza, Armentia y Treviño y sale de él por La Corzanilla, para unirse al Zadorra. La

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cuenca del mismo está formada por terreno cretáceo en su primera parte y terciario en su última.

Antes del Zadorra y menos importantes se encuentran, como afluentes del Ebro, el Virga, el Nela, el Gerta, el Omecillo y el Bayas. Siguen al Zadorra los también insignificantes Inglares y Odrón.

Después del Odrón hállase el Ega, de bastante importancia. Su cuenca se limita por la peña de Goñi y montes de San Martín, que le separan de la del Arga, la parte de la sierra de Andía, desde Ouzaita á Izarza y de los montes de Izquiz. De las vertientes septentrionales de la cordillera de Cantabria, á corta distancia del Lagrán y en la llamada fuente de Sagarrota, nace el Ega. En su primera parte del curso lleva muy marcada la dirección E., pasando por Navarrete, Bernedo, Marañón y Santa Cruz de Campezo, recibiendo pasado este punto las aguas del Egea, procedente de la sierra de Andia; poco después se cierra bastante el valle del Ega, y al pasar por el pie del cerro de la Cruz del Responso lo hace por un enorme precipicio, llegando después á Estella, donde se le une el Urederra, provinente de los altos de Urbasa, de la sierra de Andía, y cuyo curso es de unos 21 kilómetros. Ya por bajo de Estella cambia la dirección E. que traía por la Sur, para pasar cerca de Villatuerta por Allo y Lerín, dando sus aguas al Ebro, junto á Azagra. Su curso es rápido y su caudal escaso, excepto en las épocas de grandes lluvias y de deshielos. Hasta poco antes de Estella su cuenca pertenece al terreno cretáceo, siendo de origen terciario el resto de la misma.

A la cuenca del Ega sigue por la izquierda del Ebro la del Aragón. Forman dicha cuenca las vertientes occidentales del estribo que arranca del Pirineo, en el pico de Anayes, formando dichas vertientes su margen izquierda, hasta Jaca, la peña de Orox, la de San Juan de la Peña y peñas de Santo Domingo, la cordillera de los Pirineos, desde el citado pico de Anayes hasta la sierra de San Adrián, y, finalmente, la sierra de Andía, desde su unión con la de San Adrián, y un estribo suyo que se extiende en dirección Sur, desde la peña de Goñi y montes de San Martín hasta cerca del Ebro.

De dos fuentes cuyas aguas se unen por bajo del puerto de Canfranc provienen las primeras del rio Aragón. Formando un valle sumamente estrecho y abrupto corre en su principio, siguiendo el rumbo S. hasta Jaca y pasando previamente por Canfranc y Villanúa. Cambia en Jaca su dirección al O., y recibiendo las aguas de varios afluentes que luego mencionaremos, entra en el valle de Berdún, comprendido entre Jaca y Liédena, y el cual es también conocido con el nombre de La Canal de Berdún. Engro-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sadas las aguas del Aragón por nuevos afluentes, hasta el punto de hacerse ya difícilmente vadeable, sigue á Tiermas, para recibir bajo de Liédena el río Irati. Efectuada su unión, sigue el Aragón á Sangüesa y Áibar, y desde aquí entra en un valle fértil regando en él á Carcastillo, Mélida y Caparroso. Por último, después de afluir el Arga frente á Villafranca, va á dar sus aguas al Ebro, con un caudal bastante crecido.

Son afluentes de la derecha del Aragón: el Estarrues, que nace junto á la garganta de Aisa, recorre el valle de este nombre, y junto á Ascaza afluye al principal; el de Javierre, el Veral, que, recorriendo el valle de Ansó, desagua cerca de Berdún; el Esca, formado de varios arroyos procedentes de los puertos de Arlas, Arrias, Bimbalet y Belaya, recorre el valle del Roncal; el río Irati, formado de los arroyos Urchuria y Urbelcha, cuyo nacimiento se efectúa, respectivamente, en las faldas del pico de Orí y en las de Irati-Soro, confluyendo en el bosque de Irati; sigue luego el río de este nombre por Orbasa, y recorriendo el valle de Aézcoa, cubierto de espesos bosques, pasa luego por Arive y Aoiz y va á confluir con el Aragón en Liédana; el río Zidacos, procedente de las vertientes meridionales de la sierra del Pudón y que pasa por Tafalla y Olite, y, finalmente, el río Arga. Este nace en el puerto de Urtiaga, atraviesa de N. á S. el valle de Esteribar, recibe el Ulzama en Villaba, río que á su vez recibe el Armé; sigue luego el Arga á Pamplona, y cambiando al O. va á Belascoain, donde se le une el Monreal y después el Larraun, aguas abajo de Urríza; cambia luego el Arga de dirección, primero al E. y luego al Sur, regando el valle en que asientan Puente la Reina y Mendigorría, y, por último, entra en el Aragón. Los afluentes de la izquierda de este río son poco importantes, y entre ellos únicamente merecen mención el Gas, el Ousella, que confluye en Áibar y el Salado.

En lo que respecta á la geología, en su principio existen manchones de terrenos siluriano, triásico y numulítico hasta Sangüesa, donde empieza el terreno terciario, que sigue hasta su desembocadura.

A la cuenca del Aragón sigue la del Gállego, como afluente de la izquierda del Ebro. Limitan esta cuenca las vertientes de Vignemale, sus prolongaciones hasta la sierra de Guara, la serie de eminencias que ligan esta montaña á las de Almudébar y Leciñena, las vertientes meridionales de la parte del Pirineo comprendida entre Vignemale y el pico de Anayet, y, finalmente, las vertientes occidentales del estribo que desde este pico se une á la sierra de Jaca.

Nace el Gállego en una fuente próxima al puerto de Sallent,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que une á España con Francia, fuente situada en el valle de Tena. Pasa primeramente por Sallent; corre por terreno abierto y entre peñascos desprendidos de las crestas inmediatas, para ocultarse entre ellos más de 100 metros y reaparecer en el llano de las Masacuas. Desciende tranquilo hasta el S., recogiendo las aguas de de los ríos Agualímpida, Pondiellos y Caldarés, y sin perder la dirección indicada baja hasta Jabarrella, inclinándose desde aquí al SO., cuyo rumbo pierde en Triste, para volver á tomar el de N. á S., que guarda hasta su unión con el Ebro en Zaragoza. La constitución geológica de los terrenos de su cuenca es análoga á la del Aragón.

Sus afluentes son de muy escasa importancia, y entre ellos se encuentran el Asabón, que afluye por su derecha, y el Sotón, que lo hace por la izquierda.

El río Segre es el más importante de todos los afluentes de la izquierda del Ebro. Definen su cuenca las vertientes septentrionales y occidentales del gran estribo que, arrancando de la cordillera pirenaica, separa la cuenca de este río de las del Ter y Llobregat, las meridionales de los Pirineos, desde el pico de Corlitte al de Vignemale, y de las orientales de otro gran estribo que arranca del citado Vignemale en dirección Sur.

El Segre tiene su nacimiento en Mont-Lomis (Francia), próximo al Coll de Finistrelles; recorre parte de la Cerdeña francesa, pasando en ésta por la pequeña población de Llivia, que, aunque enclavada en territorio francés, pertenece á España, de cuya frontera dista unos cinco kilómetros. Entra luego el Segre en España por Puigcerdá, estrechándose considerablemente en su valle, y desde Puigcerdá á Seo de Urgel va el río por un terreno muy accidentado, y después de pasar por pueblos sin importancia, sale á los llanos de Urgel, pasando por Seo de Urgel. Por bajo de este pueblo vuelve á entrar en nuevos desfiladeros, pasados los cuales llega el río á la rica villa de Balaguer. Ya bastante crecido pasa por Lérida y vierte sus aguas al Ebro por Mequinenza. Su pendiente media es próximamente de $0^{m},0054$. Los afluentes de la izquierda son insignificantes, mientras que por la derecha recibe algunos importantes, como son el Noguera-Pallaresa, el Noguera-Ribagorzana y el Cinca, aparte del Balira.

Nace el Noguera-Pallaresa en Nuestra Señora de Mongarrí, en los Pirineos; corre al S. por la ingrata y agreste comarca de Pallás, atraviesa la sierra de Arés por la garganta de Collegats, entrando á poco en la hoyada conocida con el nombre del Conca de Tremp. Limitan esta hoyada: al N., la sierra de Arés; al S., la de Montsech; al E., un trozo de la del Pallás, y al O., otro de la de Ribagorza. Sale de esta comarca después de pasar por Tremp,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

por la garganta de Terradets, entra luego en terreno algo más llano y afluye al Segre antes de llegar á Balaguer.

El Noguera-Ribagorzana nace en el puerto de Viella, de la Maladetta; corre al S. por pequeños pueblos, sirve de separación á los antiguos reinos de Cataluña y Aragón y va á unirse al Segre por bajo de Balaguer.

El Cinca, más importante aun que los dos anteriores, nace en el Monte Perdido, entre las Tres Sorores y la sierra de Estós; corre en un principio por el estrecho valle de Bielsa, y saliendo de él por las angostas gargantas de Gradilla de Bielsa, entra en el de Puértolas, más despejado y espacioso; pasa por Ainsa, Mediano, La Pinilla y Castro; desde este punto describe dos curvas muy pronunciadas, hallándose Barbastro en la concavidad de la mayor; corre luego á Monzón, Alcolea, Vallobar, Alcanadre y Fraga, y, finalmente, desagua en el Segre por bajo de Torrente.

Terrenos cretáceos, numulíticos y silurianos forman la cuenca del Segre, geológicamente considerada.

Siguiendo en los afluentes de la derecha del Ebro el mismo orden seguido para los de la izquierda, se encuentran en primer lugar los insignificantes Hijar é Izarilla, respectivamente, á los que siguen el Rudrón. Nace éste en los páramos de la Ras y de la Lora, y en casi todo su curso va encerrado en un estrecho valle, llegando al Ebro por la entrada del estrecho de Valdenoceda. Su curso es de unos 49 kilómetros. A este río sigue el Oca, el cual nace en los montes de su nombre; corre al NO. por el valle de Bureba, pasa por Briviesca y afluye al Ebro cerca de Oña, en la Toradada. El Oroncillo, que sigue al Oca, nace en el valle de la Bureba; atraviesa la brecha de Pancorbo y se une al Ebro. Sigue el Tirón, también de poca importancia; viene de la sierra de la Demanda, atraviesa estrechos, pero fértiles valles, y afluye al Ebro en Haro. Sigue luego el Najerilla, que, naciendo en la sierra de Urbión, pasa por Nájera y afluye entre Haro y Logroño; el Daroca de Rioja, que se encuentra después del anterior; después de éste, el Iregua, que nace en la sierra Cebollera, pasa por Torrecilla de Cameros y desagua en Logroño; el Cidacos desciende de la sierra de Oncala, pasa por Vanguas y Enciso, donde se le une un arroyo que desciende de la sierra de Ayede, de Enciso, y entra en Arnedillo; frente á la Peña Isasa cambia de dirección al E. y pasa luego por Erce y Arnedo, y unos tres kilómetros por bajo de Calahorra afluye al Ebro.

Tras el Cidacos está el Alhama. Nace en la Sierra del Madero, cerca de Suellacabras, de la provincia de Soria; corre en dirección NE. por Cigudosa, Aguilar y Cervera del Río Alhama; sigue luego á Fitero, y cambiando después la dirección al NE., riega

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

con sus aguas las ricas villas de Cintruénigo, Corella y Alfaro, afluyendo por este último sitio en el Ebro.

El Queiles, río siguiente al anterior, nace en las estribaciones del Moncayo, cerca del pueblo de Vozmediano; pasa por Agreda y Tarazona, cuyo pueblo a traviesa; llega luego á Cascante, fertilizando un bonito valle, y en Tudela se une al Ebro. Sigue al de Queiles el Huecha. Nace éste en el Moncayo, pasa por Borja, Mallén y Cortes, y en este último punto se une al canal Imperial. Sigue el Jalón, el río más importa nte de todos los afluentes de la derecha. Tiene formada el Jalón su cuenca por las vertientes orientales de la Ibérica, desde el Moncayo hasta Albarracín, desprendiéndose de la misma varios ramales, de entre los cuales las sierras de Segura, Cucalón y de Vicor ciñen la mencionada cuenca. Por el N. la limita el ramal del Moncayo, divisoria del Huecha, y, finalmente, un lomo que une la sierra de Vicor con la de Muela separa su cuenca de la del Huerva. El Jalón nace en Sierra Ministra, al S. de Esteras. Va en dirección N. hasta Medinaceli, tuerce luego al NE., y encajona do por un estrecho desfiladero, llega á Arcos, y desde este punto va serpenteando y regando una amena y pintoresca vega, pasando por Ariza y Cetina; vuelve luego otra vez á entrar en otro desfiladero, formado por la Sierra Deza, pasando por Alhama y entr ando en Bubierca, ya fuera del desfiladero, entra luego con bastante caudal en Ateca; sigue después el Jalón á Calata yud, y después de bañar el pie del monte Bambola, atraviesa la sierra por una angostura espesísima, y ya cerca de Morata riega el territorio de Campiel. Entra luego en La Almunia, y pasando á Épila, Plasencia y Pleitas vierte en el Ebro por entre Cabañas y Torres de Berrellén. Las grandes superficies regadas por este río le hacen disminuir notablemente su caudal.

Son afluentes de la derecha el Blanco, Vadillo, el Piedra, el Giloca, el Perejil y el Grío. De éstos, el Blanco, el Vadillo y el Perejil son de escasa importancia. El Piedra nace en el señorío de Molina, y su valle es bastante desigual. En dicho valle el río se precipita de distintas alturas, formando caprichosas y variadas cascadas, como la del Salto del Caballo. El Giloca tiene su nacimiento en la fuente de Cella, y en su principio riega, por medio de tres acequias, una extensa llanura; pasa por Burbáguena, Báguena y entra en la importante población de Daroca; de aquí continúa á Villafeliche, y de allí y regando las inmediaciones y huertas de algunos pueblecillos, llega, encajonado entre montañas, á Calatayud. El Grío nace entre las sierras de Vicor y de Algairen y vierte en el Jalón.

Son afluentes de la izquierda del Jalón el Ambrona, el Nágima,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el Delza, el Manubles, el Ribota y el Aranda. Son insignificantes el Ambrona, el Nágima y el Ribota. El Deza desciende de la Ibérica, encajonado por cimas bastante elevadas. El Manubles nace en el Moncayo y corre con escaso caudal de agua por pequeños valles y estrechos desfiladeros, uniéndose al Jalón en Ateca, y, finalmente, el Aranda nace en las faldas del Moncayo, y pasando por Aranda afluye en La Almunia.

La naturaleza geológica de los terrenos de la cuenca del Jalón es bastante variada. Nace en terrenos triásicos, atraviesa luego una pequeña capa de jurásicos, entra en terrenos cretáceos, en cuya parte se encuentra Alhama; pasa por una faja de terrenos silurianos, hallándose en ellos Ateca; por otra faja de terrenos terciarios, en los que se encuentra Calatayud; corre por una ancha faja de terrenos silurianos; toca luego en pequenísimas porciones de triásico y jurásico, y, finalmente, en su última parte va por terrenos terciarios.

El Huerva es el afluente de la derecha del Ebro que sigue al Jalón. Nace éste en las faldas occidentales de la sierra de Segura, en el sitio denominado Las Cañadillas, en el término de Fonfría. Su primera dirección es al NO., pasando por entre el Campo Romano y la sierra de Cucalón; tuerce luego al NE., cerca de Maimar, y atraviesa la sierra por el pie del pico de Herrera. Aumentado su caudal con las aguas de varios arroyuelos, corta cerca de María otra serie de eminencias que se oponen á su paso, y salvando el Canal Imperial se une al Ebro en Zaragoza. El río siguiente es el Aguas. Tiene su nacimiento en la Sierra Perlada, entre las de Segura y Cucalón. Marchando en un principio en dirección S., tuerce al NE. en Maicas, formando varias y pronunciadas revueltas, y pasando por varios barrancos llega á Huesa y Moneva, aumentando en este sitio su caudal la afluencia de un arroyo; cambiando después su dirección al E., riega las campiñas de Belchite y Azaila, afluyendo al Ebro cerca de La Zaida. De algún mayor curso que éste es el Martín, que le sigue, y el cual corre en dirección casi paralela á aquél. Nace en la sierra de Segura, y después de recibir varios arroyuelos que vienen de la mencionada sierra y de la de San Yust, llega á Montalbán; en este sitio cambia la dirección E. que traía por la NE., y encajonado en un largo barranco, en el cual se halla Alcaine, entra en el ameno valle de Olite, pasando luego por otro barranco y entrando á regar la huerta de Albalate por medio de dos acequias, y después las de Híjar, Castelnou y Escatrón, entrando por este último sitio en el Ebro.

El Guadalope, segundo río en importancia de los afluentes de la derecha del Ebro, nace en la sierra de Gúdar y dentro de ella,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en Villarroya de los Pinares. Pasa primero al NO. por Villarroya de los Pinares y Miravalles de la Sierra; en Aliaga cambia su dirección al NE. y pasa así por Castellote, Mas de las Matas y Aguaviva; sigue luego á Torrecilla de Alcañiz y desagua en el Ebro, en las proximidades de Caspe. El Pitarque, Tronchón, Cantavieja y Mezquín son afluentes á la derecha, y Val de Jarque y Guadalopillo lo son de la izquierda. No cruza más formaciones geológicas que la cretácea en los dos tercios superiores de su cuenca, una fajita jurásica entre Mas de las Matas y Calanda, y de aquí al Ebro, la miocena.

Finalmente, el Matarraña y el Ciurema son los dos últimos afluentes de la derecha del Ebro. El primero, que también es conocido con el nombre de Nonaspe, nace en los puertos de Beceite, cerca del Toral des Encanadés, y con un curso precipitado baja á Peñarroya, Maella y Nonaspe, donde se le une el Algas, que baja de cerca de Hosta por Lledó y Mas Nuevo. Juntos el Algas y Nonaspe se dirigen á Fayón y van á unirse al Ebro.

Tercera parte.—*Región austro-oriental.*—Esta región está constituída por las distintas cuencas que se forman al S. de la del Ebro y por las que circulan ríos que vierten sus aguas al Mediterráneo. Encuéntrase limitada: por el N., por la cuenca del Ebro; por el E. y por el S., por el Mediterráneo, y por el O., por la serranía de Cuenca, sierras de Alcaraz, de Segura, de La Puebla de Don Fadrique, de María, de las Estancias, de Baza y Sierra Nevada, enlazadas unas á otras por elevadas mesetas.

Siguiendo en la descripción de esta parte el mismo orden que en la anterior, hállanse primeramente las cuencas de los ríos La Cenia, Cerbol, Calig, Segarra y Mijares, de no gran importancia. Nace el río La Cenia en los puertos de Beceite, baja por Fredes y, unido después al Benifazá, entra en un desfiladero, tras del cual se halla La Cenia. Pasa luego por un terreno menos ás pero que el anterior y entra en los términos de Ulldecona y Alcanar, y poco después vierte en el Mediterráneo, entre las Torre del Sol de Río y Torre del Sol de Río Abajo. El río Cerbol tiene su nacimiento en el pequeño valle comprendido por los montes de Benifazá, peña de Aguila, la peña de Bel y las vertientes septentrionales de la Mola de la Clapisa y el Monte Turmelí. Pasando por Bel y Ballivona desemboca en el Mediterráneo por Vinaroz, después de un corto curso y con escaso caudal de aguas. El río Calig, también insignificante, desciende del Coll de Morella y de la Muela de Miro. El río Segarra ó de las Cuevas tiene su origen cerca de Salsadella, pasa por cerca de Albocácer, y con escaso caudal desemboca en el mar. El Mijares desciende del alto de Torrijas y se halla formado de varios arroyos, los que corren

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tortuosamente al E. por entre muelas y sierras, y ya juntos forman el río que pasa por Ciral, Torrecilla, Toga, Espadilla y Vallat. En Vall se ensancha el valle de Mijares y sigue luego el río á Villarreal y Almazora, desembocando en el Mediterráneo, junto á la Torre de Almazora. Recibe como afluentes el Higueras, el Linares, que viene de Villahermosa, y el Monllón, que, naciendo cerca del puerto de Mingalbo, al pie de la sierra de Mosqueruela, pasa por Villafranca del Cid, Vistabella y Culla, y afluye al Mijares frente á Villarreal. La parte alta de la cuenca del Mijares pertenece á terrenos cretáceos, y á los terciarios desde Ribesalbes á su desagüe. Al S. del Mijares dan al mar sus aguas varios arroyos sin importancia que vienen de los últimos contrafuertes de la sierra del Espadán. Entre éstos se encuentran el Seco ó Bechí, que desagua cerca de Burriana; el Barranco de la Fonfreda, que lo hace cerca de Nules, y el de Belcayde entre Moncófar y Chilches. Al S. de estas poco importantes corrientes de agua corre el Palancia. Ciñen su cuenca las vertientes meridionales de la sierra de Espadán, las orientales de una parte de las de Javalambre y las septentrionales de los montes de Bellida. Nace al NO. de Bejís, de las elevadas peñas conocidas con el nombre de Peñaescavía, y llega á Vivér; desde este sitio, y cruzando las faldas del monte de la Cueva Santa, llega á Segorbe, población que atraviesa, pasando luego por Algar, Alfara, Gilet y Murviedro, yendo á desembocar en El Grao. En su primera parte va por terrenos triásicos hasta Vivér, en cuyas inmediaciones y en las de Segorbe se forman extensos depósitos diluviales, y desde aquí hasta el mar corre por formaciones terciarias.

Limitan la cuenca del Guadalaviar, Blanco ó Turia, por su margen izquierda, las vertientes orientales y meridionales de la sierra de Tremedal y las del Lomo, que va á unirse á la sierra de Gúdar y ramales que parten de esta sierra y separan esta cuenca de la del Palancia, y por la margen derecha la limitan las vertientes sepentrionales de los Montes Universales. Después de su nacimiento en la Muela de San Juan corre al E. por Albarracín y Teruel, encajonado por entre montañas y engrosando su cauce con las aguas de manantiales que de estas montañas se desprenden. Al salir de Teruel, el Guadalaviar corre por un estrecho valle formado por los Montes Universales, de una parte, y por la Sierra Camarena, de la otra; riega el valle denominado Rincón de Ademuz, enclavado en la provincia de Teruel y perteneciente á Valencia; pasa por Domeño y, encerrado en un estrecho barranco formado por ásperos montes, continúa á Liria; á partir de Benaguacil corre por una fertilísima llanura, dando sus aguas á varios canales y acequias que la riegan. Sangrado ya el Guada-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

laviar en forma tal que queda casi exhausto de aguas, desemboca en el Mediterráneo por la playa de El Grao, después de haber pasado tocando á Valencia. Recibe como principal afluente el Alfambra. Este nace en la sierra de Gúdar; pasa por Gúdar, Galve y Alfambra, en los cuales tiene cambio en su dirección; entra luego en un precipicio, y pasando después por una vega dilatada, aunque no muy productiva, va á dar sus aguas al río principal en Teruel. Los hermosos prados de la parte alta de la cuenca del Guadalaviar, las fértiles vegas de la llanura y las feraces huertas del final de su curso que este río riega acrecientan la importancia del mismo. Desde su origen hasta el E. de Egea atraviesa terrenos jurásicos; son luego miocenos, hasta salir de Ademuz, variando la naturaleza del lecho de su cauce al entrar en Valencia, donde sigue por terrenos cretáceos y triásicos, y vuelve luego, al S. de Bogarra, á entrar en los terciarios, los cuales no deja ya hasta su desembocadura.

Otro río sin importancia se encuentra al S. del Guadalaviar, que es el Chiva. Provie ne de la población de su nombre, situada en la sierra de Aledua; cruza luego la llanada existente entre Valencia y Alcira y desemboca junto á Catarroja, en la gran laguna de la Albufera, la cual á su vez comunica con el mar por un brazo llamado Gola de la Albufera.

Continuando la reseña sigue el río Júcar, el más importante de todos los de la provincia de Cuenca. Además de esta provincia parte de las de Teruel, Albacete, Alicante y Valencia están dentro de la cuenca del mismo. Está limitada por los accidentes siguientes: las sierras de Tragacete y Bascuñana, las vertientes meridionales de un lomo que, siguiendo la dirección Sudeste desde los llanos de Albacete, se eleva sucesivamente por los altos de Chinchilla y el Mugrón de Almansa, que separan esta cuenca de la del Segura, y las vertientes, también meridionales, de la sierra de Énguera; de la sierra Grosa y de la de las Agujas; éstos como accidentes de la orilla derecha. Por su izquierda se encuentra limitada por el cerro de San Felipe, de la Muela de San Juan y los de Javalón, Santerón y Ranera, el Pico Tejo, los altos de las Cabrillas y la sierra de Aledua. Tiene lugar su nacimiento en las fuentes que manan en los llamados Ojuelos de Valdeminguete, de la sierra de Tragacete. Corre al principio de su nacimiento por un estrechísimo barranco formado por la mencionada sierra de Tragacete y la de Valdemeca, y pasando por entre ásperos desfiladeros de rocas llega á la capital de Cuenca; continúa su dirección S. de este sitio, metido en un hondo cauce, y en esta dirección corre varios pueblos, pasa por Olivares y Valverde de Júcar, y al llegar junto á Villargordo del Júcar tuerce al E., en

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tra en un estrecho valle bastante poblado, y después de su confluencia con el Cabriel corre por un barranco formado por gruesas muelas, espolones de la meseta en que están Utiel y Requena, las de la izquierda, y las de la derecha de otra que es ramificación de la sierra de Énguera. Después de salir de ellas entra en la pequeña llanura valenciana, pasando por Alberique, Carcagente y Alcira, esta última ciudad situada en una isla que el río forma; pasa luego el río á la villa de Sueca, cuyo territorio riega, y, por último, desemboca en el mar, aguas abajo de Cullera. Su cauce es profundo en la primera parte de su curso, ensanchándose bastante en la entrada de la provincia de Valencia, donde se aprovechan sus aguas para regar las vegas de Jalance y Cofrentes. Respecto á su caudal, diremos que es bastante caudaloso y difícil de vadear en su parte media, disminuyendo notablemente la importancia del mismo en su parte baja, á causa de las grandes sangrías que para riegos recibe este río. El principal afluente del Júcar es el Cabriel. Nace éste en la Muela de San Juan, desde donde desciende torrentosamente por entre las empinadas rocas que forman aquella meseta. Su primera dirección es al SE., cambiándola prontamente por la de S., pasando por Salvacañete, Alcalá de la Vega, Campillos y Boniches; más tarde pasa por Villatoya, y, finalmente, en Cofrentes da sus aguas al Júcar. Su curso forma una infinidad de curvas, siendo de anchura variable, según las asperezas de los sitios por donde pasa, y generalmente difícil de vadear, á causa de lo pedregoso de su lecho. Recibe este río á su vez como afluentes el Laguna y Guadazaón por su margen derecha, y el Villora y Moya, por su izquierda.

Después del Cabriel se hallan como afluentes del Júcar el Mariana, Huécar, Moscas, Chillarón, San Martín, Tórtola, Fresneda, Altarejos, Marimota, Cañada, Negrita, Gritos, Valhermoso, Valdemembra, Escalona, Sellet, Albaina y Magro. La constitución geológica de la cuenca del Júcar es como sigue: Nace entre capas jurásicas de la sierra de Tragacete y hasta Cuenca va por terrenos secundarios primero, y marcando la línea de separación entre ellos y los terciarios, después. Continúa desde Cuenca por el mioceno y entra en el cretáceo por Alcalá del Júcar hasta Sumacárcel en que vuelve á penetrar en el terciario, el cual sigue hasta su desembocadura.

Debajo de la extensa cuenca del Júcar existen las de otros pequeños ríos que, corriendo paralelamente á aquél tienen dichas cuencas limitadas por un sistema de montañas también paralelas. Uno de estos ríos es el Serpis ó río de Alcoy. Nace entre la sierra de Mariola y la Carrasqueta, corre por entre profundas cortaduras y escarpados barrancos proporcionando frecuentes y hermo-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sos saltos de agua; pasa por Alcoy y Cocentaina, á partir de donde baña un valle poblad ísimo y rico, limitado por la sierra de Benicadell y las de Almudaina y de Azafor, y desemboca junto á Gandía, en playas del Mediterráneo. Oliva, Pego, Denia y Jávea son fertilizados por varios arroyos que paralelamente al Serpis bajan directamente al mar.

Finalmente, el resto de la parte que se considera, y que comprende la cuenta del río Segura y las restantes parciales de otros cursos de agua que van directamente al mar, está limitada: 1.°, por las vertientes meridionales del estribo que constituyen las alturas ligadas entre sí desde el cabo de San Martín hasta el Mugrón de Almansa y las del lomo divisorio del Júcar hasta Albacete y la gran meseta central; 2.°, por las corrientes de las sierras de Alcaraz, de Segura, de Grillemona, Sagra y de Baza, y 3.°, por las orientales y meridionales de las de las Estancias, de los Filabres, de Alhamilla y del cabo de Gata. Prescindiendo de algunos arroyos que dan sus aguas al mar en la Cala Blanca y el fondeadero de Calpe, el primer río digno de mención que se encuentra en esta parte es el Algar. Desciende este río de la sierra de Carrascal, pasa por Tárbena, Bollulla, Confrides, y Callosa de Ensarriá, y en el fondo de la ensenada de Altea da sus aguas al mar. Sigue luego el Sella, que viene de Penáguila, desciende á Sella y Orcheta y desagua en Villajoyosa. A éste le sigue el Castalla ó Monnegre, que nace en el Marjal de Onil, al pie de la sierra de los Talaye y la peña del Moro. Riega la fértil hoya de Castalla y después de recibir las aguas de varios arroyos forma el pantano de Tibi y sale de él con pocas aguas. Aumenta luego éstas con las de otros arroyos y después de regar las huertas de Muchamiel y San Juan afluye al mar. Por bajo de este río se encuentra el insignificante de las Ovejas y más abajo el Vinalopó. Nace éste en las faldas meridionales del extremo O. de la sierra de Mariola, corre de E. á O. por Bañeras y por el espacioso valle de Benejama, limitado por los montes de Blanquinar, al N. y S. de la Peña Blanca, entra en Villena, recibiendo aguas de dos arroyos que afluyen antes y después de dicha ciudad, respectivamente, toma luego este río el rumbo SE., continuando en esta dirección hasta el mar, entrando en un anchuroso valle, donde se encuentran Monóvar, Novelda y Elche, y pasando este punto desemboca en la Albufera de Elche, situada en las orillas del Mediterráneo. El río Tarafa y el arroyo Manresa son los principales afluentes del Vinalopó.

En las vertientes de la Sierra Seca, comprendida en el grupo conocido bajo la denominación genérica de Sierra de Segura, dentro de la provincia de Jaén, tiene sus orígenes el río Segura. Co-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

rre en dirección E. por entre la sierra de los Calares y la Grillemona y en su principio riega un valle angosto y solitario, recibe de él varios arroyos que provienen de otros valles análogos, cruza luego la garganta de los Almadenes entre las sierras de la Cabeza del Asno y Grillemona, llega á la población de Calasparra, continuando su curso en dirección SE. Recibe cerca de Cotillas el río de la Mula, para luego entrar en la huerta de Murcia y la de Orihuela, y desde este punto se dirige al E., para desembocar al poco tiempo en el Mediterráneo por cerca de Dolores. Su cuenca es bastante extensa y su caudal, crecido en parte, disminuye en otras por el aprovechamiento que tienen sus aguas para riegos. Son frecuentes las avenidas y sus efectos bastantes sensibles. Sus afluentes principales son: el Mundo, el Moratalla, el Argos, el Quipar, el Mula y el Guadalentín ó Sangonera. El Mundo nace al pie del Calar del Mundo, corre en su primera parte en dirección paralela al Segura y en Ayna cambia de dirección al SE., uniéndose al Segura por Liétor é Isso. El Maratalla nace en el campo de Zacatín, riega un pequeño valle formado por las faldas meridionales de la Sierra Grillemona y las septentrionales de la sierra de Castellón de Moratalla y luego se une al Segura. El río Caravaca ó Argos corre de Este á Oeste por Caravaca y después se une al Segura. El río Quipar proviene de la Sierra Grillemona, y sus escasas aguas, poco utilizables en riegos, van á afluir al Segura cerca de la angostura de los Almadenes. Por último, el Guadalentín ó Sangonera nace en el collado de las Vertientes entre las sierra de María y de Oria, va en dirección E. por un buen valle, pasa por Vélez-Rubio y Lorca, cambia luego al NE. para entrar en otro valle ancho limitado por las sierras de Carrascoy y Almenara. En épocas de lluvias desagua torrentoso en el Segura.

La constitución geológica de la cuenca de este último río es poco variada. Los terrenos secundarios, especialmente los cretáceos, forman la parte alta de su cuenca, encontrándose los terciarios en el Oriente de Albacete y toda la provincia de Murcia, salvo en los alrededores de esta ciudad, en la que dominan las formaciones pospliocenas.

Por bajo del Segura existen varios riachuelos insignificantes hasta llegar al río Almanzora ó Guadalmanzor. Su cuenca, estrecha y limitada, está comprendida entre las sierras de las Estancias por el N. y la de los Infantes y de Baza por el S. Nace en los llanos de Huelgo, en las vertientes septentrionales de la sierra de Baza, y corriendo de O á E por la Sección central de Almería pasa por Tijola y Purchena, baña las faldas de los montes en que asientan Huércal-Overa, por la izquierda, y Vera por la dere-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cha, y cerca de este pueblo, y por entre los Cerros Colorados, desemboca en el mar. Su caudal es excesivamente variable: abundante en otoño, primavera é invierno, y nulo completamente en el verano.

Al S. de este río y por entre las sierras de los Filabres y de Alhamilla, circula el último río digno de mención. Este es el Aguas. Nace en la unión de las dos sierras indicadas, formándose de las dos ramblas de Moras y Cucador, cuya unión se efectúa en la villa de Sorbas por donde el río pasa, entrando en el mar lamiendo las faldas de la Sierra Cabrera.

Vertiente occidental.

La vertiente occidental es, hidrográficamente considerada, la más importante entre todas las demás. En ella asientan las cuenca de los ríos Miño, Duero, Tajo, Guadiana y Guadalquivir.

Esta vertiente puede dividirse en las cinco partes siguientes:

PRIMERA PARTE.—*Región austro-oriental de Galicia.*—La limitan los accidentes siguientes: el gran ramal ó cordillera secundaria que sale de la Cantábrica desde Cueto Alto y con la dirección general SO. va marcando los picos de Tamharón y Suspirón, altos de Brañuelas, puerta de Manzaned, Monte Teleno, Peña Trevinca, sierras Segundera y de Queija, hasta San Mamed, penetrando después en Portugal la divisoria entre la parte que consideramos y la cuenca del Duero. Por el NE. limitan la mencionada región el trozo de sierra Galaico-Astúrica que va de Cueto Alto al pico de Miravalles y al puerto de Piedrafita, subiendo desde éste por la sierra de Cebrero, Fonfría y montes de Albela á la peña del Pico, y de aquí, por Fontarón y Casalla, al monte del Cadeto; sube después por peñas de la Herradura y la sierra de Meira á Santa María la Mayor, donde vuelve en dirección al O. á buscar el Cerro Antonio, La Piña, Gistral, Monte Burtelo, Monte Cajado y la sierra de la Feladora, para terminar en la Estaca de Varés, hasta la desembocadura del Miño, completando el perímetro de la sección considerada. Se hallan comprendidas en ella íntegras las provincias de Pontevedra y La Coruña, casi toda la de Orense, excepto una pequeña parte de la sección meridional; la inmensa mayoría de la de Lugo, menos un reducido trozo de su región del Norte, y la porción occidental de la de León.

Antes del Miño, que es el río más importante de esta región dan directamente al mar sus aguas otros ríos situados al N. del mismo. El más septentrional de éstos es el Jallas. Tiene su nacimiento en las Brañas de Castris, al pie de los picos de Bubela y del Castelo. Su primera dirección es al SO., hasta el punto de unión con el río Abuín, que, bajando de Villamayor y Seré, se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

une al Jallas por su izquierda. En dicho punto cambia algo su dirección al O., y serpenteando los Montes Aro, de la Ruña, Pindo y las estribaciones de la Cantábrica, pasa por Brandomil, Brandoñas y Oliveira, dando sus aguas á la ría de Corcubión, situada al E. de Finisterre y cerca de la villa de Ezaro. El caudal de este río, que es bastante pequeño en tiempos ordinarios, suele desbordarse por el pintoresco valle que el río corre en épocas de lluvia, formando en su caída al mar una pintoresca cascada, originada por la unión de los Montes Pindo y Ezaro, por entre los cuales se abre paso.

Al S. del Jallas se encuentra el Tambre, cuya cuenca se halla formada por la divisoria de la Cantábrica y la del Jallas, al Norte, y por un estribo que, desprendiéndose de la Coba da Serpe, se extiende al O. por los montes de Bocelo, Pedroso y Barbanza. Tiene el Tambre su nacimiento en una fuente de igual nombre situada en la jurisdicción de Sobrado, partido de Arzúa, provincia de La Coruña, siendo sus primeras aguas procedentes de la vertiente septentrional del Monte Bocelo; marcha en dirección al Oeste por Sobrado y Folgoso, al N. de Arceo, y de aquí, inclinándose al SO., continúa por el centro de la citada provincia, pasando por Buago, Lardeiros, Cardama, Busto, Piñeiro, Negreira y Fuente de Don Alfonso, á partir del cual forma la ría de Noya, en cuya orilla izquierda se asienta esta población, designándose la parte N. y de O. con el nombre de ría de Muros. Ningún afluente notable recibe por su orilla izquierda, siendo los más importantes por la derecha el Maruzo, Samo y Dubre.

De bastante más consideración que el Tambre es el Ulla, que le sigue; limitan por su parte superior su cuenca una serie de montañas que desde Coba da Serpe va por los montes del Corno do Boy, del Carrión, Frico del Fardo y otros, cortando el Ulla á esta serie de montes en su confluencia con el Tambre y corriendo la verdadera divisoria por los montes de San Simón y de San Cristóbal. Nace el Ulla en la fuente de Ulla, jurisdicción de Taboada, del partido judicial de Santa María de Chantada, perteneciente á la provincia de Lugo, dirígese de NO., por Cara de Naya y Albidrón, á la angostura de Ramil, recibiendo por una y otra orilla gran número de arroyos, salvada aquélla y abandonando la provincia de Lugo, sirve de separación á Pontevedra y La Coruña hasta su desembocadura; pero antes de ella, en Padrón, el río se hace navegable y toma el nombre de ría de Padrón y más adelante el de ría de Arosa, en el centro de la cual está situada la isla de esta denominación.

Recibe como afluentes por la derecha el Sareta, Fucelos, Isso y Saz, y por la izquierda, el Arnego, Deza y Liñarete.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

A la misma ría de Arosa, y en dirección paralela al Ulla, desciende el Umia. Baja este río del Monte Chamor, y recibiendo algunos afluentes insignificantes fertiliza la campiña de Caldas de Reyes, á la que cae en vistosísima cascada; después, ya en la ribera del mar, encierra por E. y S. la villa de Cambados.

El Lérez baja por las faldas occidentales de los Montes Candan, Coco y Testeiro y corre al S. del Umia, paralelamente al mismo. Después de recoger las aguas de una infinidad de arroyos que descienden de las dos vertientes de su cuenca y de pasar por lugares y feligresías situados al pie de las montañas y en sus orillas, entra en la ría de Pontevedra.

El Oitaben, que sigue al Lérez, baja de la sierra del Suido, que separa su cuenca de la del Miño, y desciende al mar por Santa María de Puente-Sampayo. Otros ríos sin importancia dan sus aguas al mar junto á Vigo, Bayona y Santa María de Oya, encontrándose entre ellos el que fertiliza el valle de Fragoso, sobre la bahía de Vigo.

La cuenca del Miño tiene por límites: al NE. y S., los generales de la sección, y al O., á partir del Monte Cajado, la sierra de la Loba, el cordal del Montouto, el Monte Coba da Serpe, la sierra de Corno do Boy, las suaves y poco elevadas lomas de San Simón y San Cristóbal, la sierra de Faro, el Monte Testeiro, sierra de Suido, Monte Mayor, Montes Galleiro y Gallineiro, hasta el cerro y ermita de Santa Tecla, en la misma desembocadura del Miño. Nace éste en la laguna de Fuenmiña, rodeada de alamedas, y perteneciente al partido judicial de Fonsagrada, provincia de Lugo; dirígese al NE. por las proximidades de Meira, villa situada entre los arroyos de Meira y Longo, hasta la confluencia con el río Magdalena, donde cambia al O. y más tarde al SO. por un terreno llano, pasando por Otero, Quintela, Justa, Triaba, Mos y Rábade, dirigiéndose luego á Lugo, capital de la provincia. Desde Lugo la cuenca del Miño se estrecha notablemente y su cauce se profundiza. Llega á Puerto Marín y Chantada, pasa con bastante caudal á las barcas de los Peares, donde se le une el Sil. A partir de este sitio cambia el Miño su dirección S. por SO., llega á regar el valle de Peroja, ceñido en la orilla derecha por el último trozo de los Pirineos Galaico meridionales. Continúa su curso á la capital de Orense, regando los buenos pueblos de su valle, y haciendo una inflexión al S. va á encontrar á la frontera, por la que sigue, quedando española la orilla derecha y portuguesa la izquierda; pasa luego por varios pueblos, entre los que se hallan Túy y Valença do Minho (Portugal) y como finales La Guardia (España) y Caminha (Portugal), desembocando en el Atlántico por este último pueblo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los principales afluentes del Miño son: el río de la Magdalena, que nace en el arranque del Cordal de Neda; el río Mao, que desciende de la Cantábrica por cerca de Cospeito; el Ladra, que teniendo su origen en lugares próximos á las fuentes del Mao, corre paralelamente á él por Villalba, se une al Parga, el cual viene por las faldas orientales de la Coba da Serpe y por Parga, Bóveda y Begonte, afluyendo al Miño frente á Otero de Rey; el río Narla, que desde el Corno do Boy desciende al E. por Friol y Parada; el Neira, que baja entre el monte de Meda y la sierra de Oribio y va por Tur ia-Castela, Samos y Sarria, uniéndose al Miño en este último punto; el río Sil, el más importante de todos; el río Barbantino, que baja de Maside y se une al Miño por la derecha; el Avia, que recoge las aguas de la sierra de Suido, Monte Testeiro y sierra de Faro, riega un fértil valle, donde se hallan Cea y Carballino, y en Ribadabia se une al Miño; el Arnoya, procedente de la parte occidental de San Mamed y que riega el extenso valle donde se encuentra el balneario de Molgas y las villas de Allariz y Celanova, y, finalmente, los ríos Tea y Louro que pasan, respectivamente, por Puenteareas y Porrriño.

El Sil es el más importante de todos los afluentes del Miño. Nace en los Montes Galaico-Astúricos, al pie de Cueto Albo (León), y recoge las aguas septentrionales de las sierras que forman la división meridional de la sección que se describe, y las meridionales correspondientes al trozo de cordillera desde Cueto Albo al pico de Miravalles y puerto de Piedrafita, y de éste á Sarria. La primera parte del curso de este río está formada por un terreno sumamente quebrado, pasando por los fértiles territorios de Ponferrada, y rompiendo la barrera que le oponen las sierras intermedias, tuerce al O. para pasar por un profundísimo barranco, formado por montes tan escabrosos como son la sierra de Caballos, la de Caurel, la del Lózara y la del Oribio, éstas ramales meridionales de la de Cebrero, así como la Sierra Negra, Peña Trevinca y Sierras Segundera, de Queija y de San Mamed. Todas estas sierras limitan el valle de Valdeorras, donde asientan los pueblos de Sobradelo, el Barco, Villamartín, La Rúa y Petín. Luego, y poco después de unirse á él por la izquierda el Bibey, atraviesa el Sil el Monte Furado, formado por un estribo meridional que se desprende de la sierra de los Caballos, cambiando bruscamente su dirección al N. por el pie de Cerengo; entra en el valle de Quiroga, el cual riega, volviendo á su primitiva dirección Sudoeste, cerca de Ambasmestas; más tarde penetra en un profundo tajo y, según ya dijimos, se une al Miño por las barcas de los Peares. Su cauce es en general profundo y tortuoso y muy ásperas y quebradas las laderas que le determinan, especialmente

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en la parte que media entre su nacimiento y la villa de Ponferrada, y en cuanto á su caudal, rivaliza con el del Miño y le sobrepuja en la confluencia de ambos.

Tiene el Sil, como principales afluente, el Boeza, que riega el señorío de Bembibre y afluye por la izquierda; el Cúa, que pasa por Cacabelos; el Valcárce, que, unido con el Burbia en Villafranca, afluye al Sil por su orilla derecha; el Bibey, que desciende de las sierras de Queija y pasa por Viana del Bollo y Puebla de Tribes; el Quiroga, que, bajando del Pico Pájaro de la sierra de Caurel, riega el valle de su nombre, así como los pueblos de la Hermida y Guiroga, uniéndose al Sil en San Clodio; el río Lor, que desciende de la sierra de Cebrero y afluye en Ambasmestas, y, finalmente, el Cabe, que baja de las vertientes occidentales y meridionales de la sierra de Oribio y pasa por Rubián, Puebla del Brollón, Monforte y otros pequeños pueblos del valle de Lemus.

Por bajo del río Miño corre, con curso independiente, el Limia, andando en la mitad de su curso por España y haciéndolo en el resto por Portugal. Nace en la laguna Antela, situada al O. de la sierra de San Mamed. En su principio marcha por un valle suave, el cual va accidentándose por los ramales de las sierras de Laronco, de Peña y de Jures. Estos ramales dan lugar á pequeños valles, entre los que se encuentran el de Limia, en el que se halla Ginzo; el de Bande, el de Lobera, el de Salas, en el que se encuentra Calvos de Randín y es regado por el río Salas, y, finalmente, el valle de Olelos regado por el río del mismo nombre, del cual es fronterizo con Portugal en gran parte de su curso. El río Limia entra luego en Portugal.

El Cabado, que nace en la sierra de Gerez, y el Ave, que lo hace en la de Falparra, son los últimos ríos de la región.

Para terminar, se dirá que su constitución geológica, y, por lo tanto, la de las cuencas de los ríos que reseñamos, es la más uniforme de todas las secciones hidrográficas del territorio español, en atención á que los terrenos de transición en el centro y N. de la provincia de Lugo, y los hipogénicos y estrato-cristalinos en el resto, son los únicos que se presentan en ella cubriendo exclusivamente su área.

SEGUNDA PARTE.—*Cuenca del Duero.*—La cuenca de este gran río encuéntrase limitada: por el N., por los Montes Vasco-Cantábricos, desde Peña Labra á Cueto Albo, bajando de aquí por las sierras de Murias y de Ponferrada al Teleno y Peña Trevinca, para entrar á poco en Portugal; por el E., el grupo Ibérico desde Peña Labra á Sierra Ministra, y por el S. el lomo central, formado por las sierras de Guadarrama, Gredos y sus prolongaciones. En este perímetro, que tiene un área próximamente de 79.000 ki-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

lómetros cuadrados, se encuentran íntegras las provincias de Palencia, Valladolid, Zamora y Segovia y gran parte de las de Soria, Burgos, León, Salamanca y Avila, existiendo á su vez una parte de la de Orense, que, por Portugal vierte en el Duero.

Por encima del lugar de Duruelo existe una fuente, la cual recoge las provinentes de las vertientes meridionales de la peña de Urbión. En dicha fuente, cuya altitud es de más de 2.200 metros, tiene su nacimiento el río Duero. Al principio el mismo va encerrado entre montañas, pasando en esta forma por varios pueblos, entre los que se hallan Covaleda, Vinuesa y La Muedra. Corre luego por Vilviestre de los Nabos, Hinojosa de la Sierra y Garray, donde se le une el Tera, cambia al Sur la dirección E. que traía, y pasando por el boquete existente entre la sierra del Pico y el monte de las Ánimas, corre por un cauce hondo y escarpado, llegando más tarde á Soria. Pasada esta capital, sigue el Duero su curso, siempre encajonado, y únicamente en el campo de Gómara su orilla izquierda se encuentra algún tanto despejada. En tal forma llega á Almazán. A partir de aquí sus márgenes se van abriendo algo, y, continuando, pasa por Berlanga de Duero, que se encuentra en su orilla izquierda, y por El Burgo de Osma, que se halla en su derecha; cambiando luego al O., disminuyen progresivamente las asperezas de sus orillas, y el valle angosto y poco fértil que hasta aquí ha ido cruzando se abre más, y sus aguas, rápidas y con cauce no muy ancho, van por San Esteban de Gormaz y luego por Langa, continúa luego por el ex convento de La Vid y Vadocondes y llega á Aranda. Desde este sitio el terreno de la cuenca varía algún tanto, y los valles angostos y poco fértiles por donde antes pasara son sustituídos por otro valle amplio, fértil. Entra así en Roa, y ya en San Martín de Rubiales hace un recodo al S., obligado por una serie de colinas que van marcando el límite de las provincias de Burgos y Valladolid. Pasados los pueblos de Curiel, Pesquera y Padilla, entra en un valle suave y fértil, donde se hallan: Valbuena, en su orilla derecha, y Quintanilla de Abajo, en la izquierda. Pasa luego por Tudela de Duero, Herrera de Duero y Boecillo, sigue por cerca de Viana de Cega, y aumentando su caudal de aguas llega á Tordesillas, para hacer después por bajo de este pueblo una gran inflexión, torciendo al SO.; sigue en este rumbo hasta Castronuño, en cuyo pueblo vuelve á cambiar al NO., y después, en Toro, toma otra vez su general dirección O., llegando así á Zamora. Pasada esta ciudad, donde también hace un pequeño recodo, su cauce, que ya anteriormente era hondo, se ahonda cada vez más; sus márgenes se escarpan, y en Castro-Ladrones tuerce al SO., obligado por las cimas de Mogadanzo que se oponen á su

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

paso, empezando á poco el río á servir de frontera. En este trayecto el Duero pasa por enormes precipicios; su cauce se ahonda extraordinariamente; sus orillas en ciertos puntos llegan á estrecharse.

Recibido el Tormes por su izquierda, se abren algo sus márgenes en algunos trozos. Le llega después el Águeda junto á Fregeneda, y volviendo otra vez á su dirección O., entra en Portugal, desembocando en el Atlántico por Oporto. Su cauce es profundo, tortuoso y difícil en la parte alta de su cuenca, en la salida de España y entrando en Portugal, siendo dilatado y espacioso en la región central. El caudal es considerable.

Respecto á la pendiente, ofrece una particularidad ó excepción, y es que es más suave en la zona superior que en la inferior, lo contrario de lo que, por regla general, suele suceder á los demás. Esta particularidad se explica fácilmente por el modo de hallarse repartida en escalones la pendiente hacia el Océano, escalones producidos por la gran altura de las mesetas centrales de su cuenca, superior en este río á las de todos los demás de la vertiente que consideramos.

El Duero cruza el extenso territorio de su región hidrológica española por terrenos de muy diversa estructura topográfica y variada en cuanto á su formación geológica, pues desde Soria hasta la ciudad de Zamora se desarrolla el lecho de aquél por la gran cuenca miocena de Castilla la Vieja que, juntamente con la de igual naturaleza que se extiende por todo el valle del Ebro y lo de la meseta de Castilla la Nueva, dan á dicho terreno una preponderancia notable sobre todos los demás de la escala geológica. En los nacientes del río y en los valles de las primeras y, por tanto, pequeñas corrientes que recibe antes de llegar á Soria, preséntanse los terrenos silurianos, jurásicos y cretáceos; al Norte de la citada faja miocena, por la cual discurre el río sobre Palencia y Benavente, la extensa mancha pospliocena que comprende gran parte de las provincias de León y Palencia, en sus secciones central y baja, y encima de aquélla los terrenos de transición de los Montes Vasco-Cantábricos. Por debajo de Cuéllar (Segovia) y de Valladolid, límite inferior de la formación terciaria, se encuentra otro manchón pospliocено, comprendiendo porciones considerables de las provincias de Valladolid y Segovia, y al S. de los terrenos graníticos y jurásicos de la sierra de Guadarrama. Así que el cauce del Duero pasa de Zamora entre los terrenos de transición y á poco penetra en Portugal, desarrollando su cuenca de uno y otro lado sobre formaciones estrato-cristalinas.

Antes del río Pisuerga, primer afluente importante de los de la

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

derecha del Duero, existen otros de no gran importancia. Son éstos, entre otros: el Ebrillos, que nace al S. de Duruelos y va en dirección paralela al mismo, uniéndose á éste por bajo de La Muedra; el Golmayo, que, pasando por el pueblo de su nombre, desemboca por bajo de Soria; el Izana y el Andaluz, que descienden de la sierra de Hinodejo y desaguan en Santa María del Prado y en el Puente Andaluz; el Ucero, que nace en La Umbría, corre de N. á S. por un valle generalmente áspero y angosto y pasa por San Leonardo, Ucero, por entre El Burgo de Osma y Osuna, y recibiendo el río Avión desagua poco después de La Olmeda; el río Rejas, que desciende por Berzosa, Villálvaro y Rejas de San Esteban; el Arandilla, que baja de Huerta del Rey y unido al Pilde, que pasa por Peñaranda de Duero, desemboca junto al mismo Aranda, y el río Jaramiel, que va por entre Esgueva y Duero á afluir en Tudela de Duero.

Tiene el Pisuerga como límites de su cuenca los accidentes siguientes: por el N., la porción pirenaica comprendida entre Peña Prieta y Peña Labra; por el E., la parte del grupo Ibérico que media entre Peña Labra al arranque de La Umbría; por el Sur, esta sierra, unida al pico de Navas, y las lomas y colinas que separan el Jaramiel y el Esgueva, y por el O., el ramal que desde Peña Prieta desciende directamente al S., hasta perderse en la tierra de Campos, sirviendo de divisoria al Valderaduey y al Pisuerga. Nace éste en la parte N. de la provincia de Palencia y se forma de varios arroyos encauzados en las asperísimas rocas que de Sierras Albas, Puntas Luengas y Peña Labra se desprenden; baja al S. por el valle de la Pernia, de ásperas y agrestes laderas, hasta Arbejal y Cervera de Pisuerga, en donde tuerce al Sudeste para dirigirse por Salinas y Villanueva de Pisuerga á Aguilar de Campoo; en este punto vuelve á su primitiva dirección, pasa por Villaescusa de las Torres y el valle de Congosto, formado por una estrechura sumamente áspera, y después de los ramales del Pirineo entra en un terreno cada vez más suave, unas veces sirviendo de límite á Burgos y Palencia, ó ya pasando muy cerca de él, entrando y saliendo en una y otra provincia. Pasa por Villodre, se interna en Palencia y desciende con el rumbo señalado por Valbuena de Pisuerga y Cordovilla la Real, á la derecha de Torquemada, en la cual gira al SO. para bajar por Reinoso, Baños, Tariego y Dueñas al molino de Galleta, por el cual sale el río de esta provincia y entra en la de Valladolid por cerca de Valoria la Buena. Recorre en ella un corto trecho, tocando en la capital y desembocando en el Duero por debajo de Simancas, seis kilómetros al SO. de este punto. Son afluentes de este río el Camesa, que viene de la provincia de Santander, de los altos pára-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mos divisorios con el Ebro, y afluye al río principal en Villaescusa de las Torres; el Burejo, que desciende de la sierra del Pico, pasa por Colmenares, Olmos, Prádanos y otros pueblos, dando sus aguas en Herrera de Pisuerga; el Boedo ó río de la Plata nace cerca del río anterior, desciende por el valle de su nombre á Báscones, Calahorra de Boedo y San Carlos de Abánades; los arroyos de Villarúa y Astudillo, secos en el estío y de escasísimo curso y caudal; el río Odra, que, teniendo sus afluentes en Fuente Odra, al pie del páramo de Val de Lucio, baja por Sandoval de la Reina, donde se le une el Brulles, y una vez juntos siguen á Castrogeriz y Pedrosa del Príncipe; el Arlanzón, que nace en La Concha de Pineda, corre al N. por entre esta meseta y la opuesta de Trigaza, cambia al O. en Urquiza, va por Ibeas, Jimeno, la Cartuja de Miraflores y Burgos, hasta la confluencia con el Ubierna, y de aquí tuerce al SO., dirigiéndose á Cabia, Celada del Camino y Pampliega; entra en la provincia de Palencia y desagua en el Pisuerga por la dehesa de Torquemada, uniéndose antes, cerca de Villodrigo, al Arlanza, el que nace á su vez en el arranque de la sierra de la Umbría, pasa por entre las mesetas de Sierra Calva y la Campiña, luego por Salas de los Infantes, y corre por un valle amplio, escaso de arbolado, donde se halla Lerma, pasando luego por Tardemar, Torrepadre y Palenzuela, y cerca de este último pueblo une sus aguas al Arlanzón, el río Carrión, que baja de Peña Prieta por un inmenso barranco formado por los elevadísimos estribos de peñas de Espiguete y el pico de Curavacas. Salva luego la estrechura que forma la sierra de Brezo y monte de Valdaya, sale á los llanos, pasando el desfiladero llamado de San Juan de Fuentes Divinas y se abre en varias ramas que forman numerosas islas entre Saldaña y Carrión de los Condes, continuando después por Rivas y Palencia, á desembocar en el Pisuerga por el NE. de Dueñas, y el río Esgueva, el cual corre paralelamente al Duero en gran parte de su curso y baja de Peña Tejada y Peña Cervera, corre por un valle ancho y estéril, pasa por Fillerueló, Bahabón, Tórtoles y Piña de Esgueva, uniéndose al Pisuerga, sin que sus aguas tengan disfrute para el riego.

En la cuenca del Pisuerga hállase el canal de Castilla, cuyos beneficios producidos han sido inmensos, ya dando fácil salida á los cereales, en abundancia en Castilla la Vieja, ya moviendo un gran número de fábricas de harina, ya recorriendo terrenos tan ricos en grano como los de tierra de Campos, todo lo cual ha servido para hacer á esta comarca uno de nuestros primeros graneros.

El mencionado canal de Castilla se divide en tres ramales, que tienen su unión en las fábricas del Serrón, cerca de Grijota. El

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ramal del N. principia en Alar del Rey, se extiende en una longitud de 89 kilómetros de NE. á SO. y pone en comunicación un gran número de lugares, recibiendo el agua del Pisuerga. El ramal de Campos la recibe del Carrión, se dirige desde su empalme con el del N. primeramente en dirección NO. y luego en la Sudoeste, pasando por Villaumbrales, Becerril de Campos, Paredes de Nava y Frechilla, terminando en Medina de Ríoseco á los 78 kilómetros de curso. Finalmente, el tercer ramal, ó el del S., se extiende por un espacio de 68 kilómetros por Palencia, Dueñas y Valladolid, yendo por la orilla derecha del Carrión y del Pisuerga.

Sigue después de la cuenca del Pisuerga, y como afluente de la derecha del Duero, el río Esla, también de alguna importancia. Su cuenca se halla determinada: al N., por la porción de los Pirineos Cantábricos, naciendo en Peña Prieta; al E., con una cordillera secundaria que, pertiendo de la Peña Prieta, desciende por la provincia de León, hasta Mansilla de las Mulas, y al O., por las sierras de Murias y de Ponferrada, El Teleno y parte de la sierra de la Culebra. En la región oriental de esta cuenca, en su límite con la del Pisuerga, se halla encajonada la del Araduey, ocasionada por la bifurcación del lomo divisorio entre los dos citados ríos. Nace éste en el monte Río Camba, provincia de León; llega á Renedo de Valderaduey, y desde aquí y pasando por un valle estrecho, en el cual no recibe afluente alguno, llega á Villavelasco y Nuestra Señora del Puente, entrando en Valladolid, donde recorre llanuras extensas, en las que se encuentran Castroponce, Vecilla de Valderaduey y Bolaños; por el partido de Villalpando entra en las provincias de Zamora, tocando en Villamayor de Campos, San Martín de Valderaduey y Cañizo; se le une en Castronuevo por su izquierda el Sequillo y afluyen juntos en el Duero, aguas arriba de Zamora. Tiene su nacimiento el Sequillo en cerros dependientes de los que el Araduey tiene el suyo, si bien aquéllos tienen cota inferior á éstos. Muy próximo al Araduey y paralelamente á él corre en su principio el Sequillo, pasando por Riosequillo y Villada, y recibiendo en este pueblo el arroyo de Los Templarios. Sigue luego su curso á Boadilla de Ríoseco, Villardefrades, Villabaruz y Villanueva, sitio donde lo cruza el canal de Campos; entra en Medina de Ríoseco, é inclinándose al SO. se une al Araduey. Tanto el Araduey como el Sequillo son de muy poca importancia en su curso, caudal y aprovechamiento de sus aguas.

Comprende la región hidrológica del Esla la inmensa mayoría de la provincia de León, más de la mitad de la de Zamora en su región septentrional y parte de las de Valladolid y Palencia.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Este río tiene como principales tributarios los siguientes: el río Porma, que desciende del Pirineo por Vegamián y Boñar, uniéndosele en Ambasaguas el Curueño, procedente de Huevo de Faro, cerca del puerto de Vegarada; unidos los dos van recogiendo las aguas de varios arroyos, y pasando por Vegas del Condado y otros pueblos afluyen al Esla; el río Bernesga, que procede del puerto de Pajares, y el cual, encerrado en un principio en una garganta formada por contrafuertes que arrancan de la cordillera en sentido perpendicular y cortando el sistema de ramales paralelos á la misma por La Pola de Gordón, sigue corriendo luego por un estrecho desfiladero de rocas hasta La Robla, sitio donde el cauce se ensancha bastante; después, pasando por el páramo de los Aceiteros y una serie de pueblecillos afluye al Esla en Vega de los Infanzones; el río Cea, que tiene su origen en las estribaciones de la Peña Espiguete (León), corre en la primera mitad de su curso por un lecho poco profundo, pasa por Morgovejo, Almanza, Cea y Sahagún, y ya por un valle anchuroso y fértil llega á Galleguillos y Melgar de Arriba, donde cambia su dirección al SO; entra en Valderas y va á dar sus aguas al Esla, poco más arriba del puente de Castrogonzalo; el Órbigo, el cual nace en las estribaciones septentrionales de la sierra de Jistredo, pasando por Murias de Paredes, Santiago del Molinillo y Carrizo, se dirige á La Bañeza, estando formado el terreno de ambas orillas por dos vastos páramos: el E. de los Aceiteros y la meseta que lo divide del río Tuerto, el del O.; este último río, que baja de Astorga, se une al Órbigo en La Bañeza, donde éste cambia de dirección al SE., y aumentando su caudal con el Jamur y el Eria da sus aguas al Esla por bajo del puente de Castrogonzalo; el río Tera, que viene de la laguna de Larillos, en el arranque de la sierra de Peña Negra, y corre en sus orígenes por un terreno sumamente abrupto, dando poco después sus aguas al lago de San Martín de Castañeda, situado por bajo de este pueblo, y va á pasar luego por Puebla de Sanabria; en él recibe las aguas del río de Castro, formado entre las sierras de Canda, Gamoneda y de la Culebra, y prosigue luego á Robleda y Valparaíso; recibe después el río Negro, y marchando al lado de la carretera de Benavente, pasa por Vega de Tera y Santa Marta, donde recibe por la derecha el río Ciervos, que desciende de la sierra de la Culebra; sigue á Sitrama, y cambiando en este sitio su dirección E. por la SE., afluye al Esla aguas arriba de Bretó, y, últimamente, el río Aliste, que recoge las aguas de la sierra de la Culebra y montes de Villarino y Riofrío y riega el pantano de Alcañices.

Otro de los afluentes de la derecha del Duero es el río Sabor, el cual, aunque naciendo en España, corre la mayor parte de su

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

curso por Portugal. Tiene sus orígenes de varios torrentes desprendidos de la sierra de Gamoneda y Serra Freira, al S. de Puebla de Sanabria.

El Támega es el último afluente de la derecha del Duero de alguna importancia. Como el anterior, nace en España y corre gran parte de su curso por Portugal. Limitándonos á la parte de España, este río nace en las faldas de la sierra de San Mamed, en su unión con las de Queija. Siguiendo la dirección de Norte á Sur llega por elevados montes á Monterrey, encontrándose en la orilla opuesta la villa de Verín; recibe más abajo el Ribol y penetra en Portugal por Feces de Abajo, entre las sierras de Laronco y Padrella, las que forman un delicioso valle.

Los primeros afluentes de la izquierda del Duero son de escasa importancia hasta llegar á la cuenca del Eresma. Entre estos afluentes hállase el primero el Revinuesa. Baja éste de la laguna Negra, de la parte oriental de los picos de Urbión, y por un terreno sumamente áspero, salvaje y lleno de pinos afluye al Duero en Vinuesa. Sigue á éste el Tera; nace en el puerto de Piqueras, y, como el anterior, corre de N. á S. por un terreno áspero en un principio; ábrese luego paso por Chavaler y Tordesillas en un terreno más suave y va á desembocar al Duero por el pie de la colina donde asienta Numancia, haciéndolo con tal abundancia de aguas, especialmente en las avenidas, que ha sido preciso construir un gran dique para evitar con sus desbordamientos la inundación de Garray. A poca distancia de este sitio y en las proximidades de Numancia afluye también en el Duero por la orilla izquierda el río Monigón; tiene su origen en las sierras de Alba y Oncala, cerca de Castilfrío. De poca importancia por su escaso caudal de agua es también el Rituerto, que le sigue, el cual, teniendo su nacimiento en la sierra de Almuerzo, baja por las faldas occidentales de la del Madero, regando luego, ya por sí ó ya por medio de sus afluentes, á Aldea el Pozo, Tajahuerce, Jaray, Almenar, Torralba, Tejado y otras varias. Siguen luego el Arroyo Morón, el río Escalote y el Pedro. El primero baja de Adrados, Cabanillas, Morón y Villalba y afluye por bajo de Almazán; el segundo recibe las aguas de los altos de Radona, Romanillos y Barahona y desciende por Villasayas, Cihuela y Berlanga y afluye cerca del puente de Ullán, y el río Pedro baja del Manadero, al pie de la sierra de Pela, á fertilizar la campiña de Rebollosa y los pueblos de Torraño, Fuente Cambrón y Peñalba. Después de estos ríos se encuentra el Riaza; se forma de varios manantiales próximos al pueblo de Ríofrío, al pie del puente de Quesera y al E. de Cardoso. Baja lamiendo las faldas occidentales de la Peña Negra, á entrar en Riaza, y luego á Gómez-Nuño,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Cincovillas, Ribota y Saldaña, afluyendo en Languilla el Ayllón, que viene de una fuente situada á dos kilómetros del lugar llamado Grado, y pasa por Santibáñez de Ayllón por entre ásperos cerros que se desprenden de la sierra de Ayllón; unidos el Riaza y el Ayllón en Languilla, cambia en este sitio el Riaza su rumbo al NO. y baja luego por un terreno sumamente árido, donde asientan Linares y Montejo, á Milagros. Pasando luego por Torregalindo, dividiéndose en dos brazos que luego vuelven á unirse riega la campiña de Roa y desemboca en el Duero. Vienen luego, antes del Eresma los ríos Botijas, Duratón y Cega. El Botijas viene de Castrillo y Mélida; el Duratón viene del puerto de Somosierra, pasa por Siguero, Duruelo y Duratón y entra en Sepúlveda. Corre este río en dirección O. y cambia en Casa-Blanca esta dirección por la NO., yendo por Burgomillodo, Carrascal del Río, Fuentidueña y Peñafiel, hundiendo su caudal, siempre vadeable, al Duero, aguas abajo de donde lo hace el Botijas. El Cega nace en los puertos de Arcones, de Linera y de Navafría, de la cordillera Carpetana. Corre en su principio por el valle de Pedraza, y en dirección N. va á Navafría, Pedraza y Pajares. Se inclina al NO., después de haber dado un gran recodo frente á Rebollo; pasa por un estrecho barranco, recibe las aguas del Pirón, el cual viene del puerto de Mal-Agosto por Santo Domingo de Pirón, Villovela y Mozoncillo, y se reune al Cega cerca de Íscar; sigue luego á Mojados, y, finalmente, da sus aguas al Duero en Viana de Cega; su caudal es poco importante.

El Eresma tiene su cuenca limitada: al S., por la porción del sistema central comprendida entre el puerto de Mal-Agosto, divisorio entre Madrid y Segovia y la Serrota, situada en la parte austro-occidental de la provincia de Ávila; al E., por las lomas y llanos arenosos que se extienden por Torrecaballeros, San Medel y Carboneros, que la separan de la del Cega, y al O., por la sierra de Ávila y suaves colinas que de ellas se desprenden y separan las aguas del Arevalillo y Zapardiel, primero, y después de éste el Adaja. Abraza, pues, la porción central y del NE. de Ávila, la occidental de Segovia y algo de la del Mediodía de Valladolid. Tiene sus nacimientos el Eresma en la vertiente N. de la sierra de Guadarrama, al pie de los cerros denominados Peñalara y Siete Picos, desarrollando la primera porción de su lecho en dirección al N. por los famosos pinares de Balsaín, cuyo nombre lleva el río en esta región desde que se despeña en el puerto de Navacerrada por la Boca del Asno; sigue luego á San Ildefonso y va á pasar por el pie de las faldas septentrionales de la elevada meseta en que tiene su asiento la capital de Segovia; en ésta recibe las aguas del Arroyo Clamores y más tarde las del Mila-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

nillos, que desde cerca del palacio de Ríofrío va á Ontanares y Carbonero de Ahusín. Por bajo de este último sitio recibe el Eresma el río Moros, procedente del puerto de Guadarrama, y el cual va por la Fonda de San Rafael á Vegas de Matute, Juarros de Ríomoros y Añe, en cuyas inmediaciones, y en su pinar, da sus aguas al Eresma. Continúa el Eresma por un terreno llano y con cauce profundo, pasando así por cerca de Navas de Oro y de Bernardos; sigue luego á Coca, por donde pasa por sus renombrados pinares, y en Nuestra Señora de Siete Iglesias se le une el Adaja. Ya unidos los dos ríos van á dar sus aguas al Duero en Villamarcial, poco más abajo de la confluencia del Pisuerga. Además de los ríos Milanillos y Moros, ya mencionados, recibe el Eresma los afluentes Voltoya y Adaja. Nace el primero en la sierra de Malagón, cruza Campo-Azálbaro, y en dirección N. sigue á Juarros de Voltoya, recibiendo, entre otros, el arroyo de las Cercas, que viene de Hoyuelos y Melque, y el Balisa, que baja de Santa María de Nieva y Nava de la Asunción. El Adaja tiene su origen en el puerto de Villatoro (Ávila), corre casi de Occidente á Oriente por el valle Ambles, dirígese luego hacia el N. en las cercanías de Ávila, atraviesa la sierra de este nombre y marcha por tierra llana en la provincia de Valladolid á unirse al Eresma en el sitio mencionado.

Por bajo del Eresma afluyen al Duero por su orilla izquierda y antes de llegar á la cuenca del Tormes, afluente de primer orden del Duero, los ríos Zapardiel, Trabancos y Guareña, así como algunos arroyos, como el Talanda ó Benialbo y el Ojuelo.

El Zapardiel nace en las faldas septentrionales de la sierra de Ávila, corre por Vila, Fontiveros, Cisla, Mamblas, Salvador y Medina del Campo, y su cauce, bastante profundo, abierto entre las llanuras en que Nava del Rey tiene su asiento, entra en Tordesillas, donde da sus aguas al Duero sin haber recibido ningún afluente importante. Su caudal es bastante exiguo, y durante el estío llega á secarse por completo.

El río Trabancos tiene su origen al S. de Herreros de Suso, corre en la misma dirección que el anterior, ó sea de N. á S.; pasa por Flores de Ávila, Cebolla y Rasueros, y ya dentro de Valladolid va por Fresno el Viejo y Castrejón, desaguando en el Duero por el sitio denominado de Peñas Bermejas. Su curso es precipitado y torrentoso en su origen y manso y suave en el resto, recibiendo las aguas del arroyo Pelado, que riega el valle de La Hondonada, y siendo el único afluente del Trabancos digno de mención.

El río Guareña tiene su nacimiento en Peñaranda de Bracamonte, en terreno ligeramente accidentado por algunas pequeñas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

colinas. Atraviesa el Guareña grandes llanuras que hacen pantanoso su curso y difícil, por tanto, de vadear; en ellas se encuentran Palacios Rubios, Cantalapiedra y Castrillo. Cambiando en Cantalapiedra su dirección al NO., llega á Fuente la Peña; volviendo luego otra vez al N., va por la Bóveda y Villanueva á desaguar al E. y cerca de la ciudad de Toro. Recibe como principal afluente el río Guarrate, procedente de Fuentesaúco.

El Tormes desarrolla su cuenca por las provincias de Ávila y Salamanca, siendo definida: al NE., por la sierra de Avila, hasta el cerro de Gorria, y por el lomo que la separa del río Guareña, y al S. y O., por la sierra de Gredos, hasta el Trampal, y por la de Santibáñez, la Peña, Gudiña y la baja divisoria entre él y el Huebra. Tiene su origen en la fuente Tornella, la cual brota en el prado Tormejón, término de Navarredonda de la Sierra; corriendo en un principio de E. á O., recoge por el solitario valle que atraviesa las aguas de los manantiales de la continuación occidental de las Parameras de Avila; cortada la llamada Peña Negra por el Tormes, cerca de El Barco de Ávila, va á lamer las faldas occidentales del cerro del Trampal, recibiendo á su vez el agua de varios arroyuelos procedentes de la sierra de Santibáñez. Recibido el río Corneja en el término de Villar de Corneja, entra el Tormes en la provincia de Salamanca con orientación Norte; recorre un trayecto llano y llega á Alba de Tormes. Sigue después este río á Villagonzalo y Encinas de Abajo, y ya cerca de Babilafuente gira bruscamente al O., toca en Salamanca y de aquí se inclina al NO., cruzando extensas llanuras y encerrándose luego cada vez más en un barranco profundo, pasando así por Ledesma, estando formadas sus márgenes por grandes y quebradas pendientes erizadas de peñascos que le forman difíciles *arribes*, nombre que dan en la provincia á las ásperas caídas de los ríos. De aquí que los pueblos situados en este trayecto se encuentran en un nivel muy superior al de las aguas del Tormes, siendo ejemplo de ello Almenara. El Tormes desagua, finalmente, en el Duero en la frontera portuguesa, al NO. de Villarino de los Aires.

Los afluentes del Tormes son, por lo común, de corto curso y situados en su gran mayoría en la parte alta de su cuenca y de abundante y fijo caudal en proporción á su escasísima región hidrológica.

Son dignos de mención el río Aravalle, que tiene su origen en los finales de la sierra de Gredos y unión de ésta al cerro de Trampal; el río Corneja, que, naciendo en el puerto de Villatoro, riega el valle de su nombre ó de Piedrahita, y en el cual asientan Villafranca de la Sierra, Piedrahita y Malpartida de Corneja; el Garcicaballero y Margañán, que, naciendo en los estribos del Mi-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

rón y divisoria con el Tajo y Yeltes, afluyen al Tormes por su derecha, y el Zurguén y el Valmusa, de alguna importancia, aunque de menor caudal que el que le corresponde á la longitud de su cauce, los cuales afluyen al Tormes por la margen izquierda.

La mayor parte del terreno cruzado por el Tormes es quebrado y no permite aprovechar sus aguas para el riego; hay, sin embargo, pueblos, como La Aliseda de Tormes, Bohoyo, Navatejares, El Barco de Ávila y otros de la provincia de Ávila y algunos de los de Salamanca que fertilizan sus terrenos con las aguas del Tormes, ó quizás, hablando con más propiedad, con las de sus afluentes; por regla general, aplicable á casi todos los ríos de España, son más aprovechables las de éstos que las de los grandes ríos.

Por bajo del Tormes, y con curso independiente, corre el Yeltes. Nace en la sierra de Peña de Francia, y aumentado desde sus orígenes su caudal con las aguas de varios riachuelos que bajan entre las sierras de Monsagro y Ciudad-Rodrigo al O. y la de Tamames al E., corre á El Cabaco en dirección O., inclinándose luego al NO. para pasar por Puebla de Yeltes, Alba de Yeltes y Fuenterroble de Abajo. Sigue luego por las faldas de la sierra de Ciudad Rodrigo y en dirección N., y encerrado entre esta sierra y la de Tamames va á Ituero en dirección NO., pasando por debajo del puente de Yecla y cortando el lomo que paralelamente al Duero sale de la sierra de Ciudad-Rodrigo, va á entrar en el Duero por entre Saucelle, que se encuentra en la orilla derecha, é Hinojosa de Duero, en la izquierda. El Huebra, principal afluente del Yeltes, tiene su origen entre las sierras de Frades y la de Tamames, va por Moraleja de Huebra y Anaya de Huebra, y unido al río Matilla, afluente de la derecha, cambia al O. su dirección NO. que traía, yéndose á unir al Yeltes en el sitio antes mencionado.

La naturaleza del lecho de Yeltes hace que sus aguas se utilicen poco para riegos.

La cuenca del río Águeda tiene por límites: por el E., las sierras de Monsagro y Ciudad-Rodrigo, hasta el Duero; por el Sur, la sierra Gata, desde el arranque de aquéllas hasta su terminación en la Serra das Mésas, y, finalmente, por el O., por el lomo que, teniendo su origen en la Serra das Mésas, se prolonga en dirección N. por cerca de Alfayates y Ameida, terminando en las proximidades del Duero, en la siera de Moráfa.

Tiene su origen el Águeda en las vertientes septentrionales de la sierra de Gata, en el manantial Fuente de los Llanos, término de Navasfrías, provincia de Salamanca, inmediato al encuentro

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de ésta y de la de Cáceres con Portugal, dirigiéndose primero al NE. hasta La Encina, describe después un arco pasando por Ciudad-Rodrigo, donde recorre una vega, única en todo su curso, pues luego vuelve otra vez á encerrarse en un barranco cada vez más profundo. Afluye el Águeda en el Duero por el término de Fregeneda, sirviendo de frontera á España y Portugal desde su unión con el Turones. Este río tiene su origen en lo alto del lomo que separa las cuencas del Águeda y del Côa por encima de Fregeneda; desciende al N. y pasando por un escarpado y fuerte barranco va á unirse al Águeda, recogiendo previamente las aguas del arroyo Dos Casas ó Rivera de Gardón.

Tercera parte.—*Cuenca del Tajo.*—Está formada por una faja del teritorio central de la Península Ibérica orientada de E. á O., en la cual se hallan Madrid y Lisboa, capitales de las dos naciones que la constituyen. Concretándose á lo que pertenece á España, limitan la cuenca del Tajo por el N. las sierras de Guadarrama, de Gredos y de Gata, que componen el sistema central de nuestro suelo; por el E., las crestas del grupo Ibérico, que se desarrollan desde la Sierra Ministra hasta la de Bascuñana, en la provincia de Cuenca, y por el S., el sistema de los montes de Toledo, constituído por los montes de este nombre y las sierras de Guadalupe, de Montánchez y de San Pedro, que se unen por la de Aliseda y de San Vicente con la de S. Mamed en Portugal. El perímetro expresado comprende porciones de las provincias de Teruel, Guadalajara, Cuenca, Madrid, Avila, Toledo y Cáceres, donde se interna en Portugal.

El río Tajo, que es el de mayor curso de toda la Península, nace en la sierra de Albarracín, enlazada con los Montes Universales en el sitio llamado Casas de Fuente García (Teruel), teniendo las mesetas del mismo en su origen una altitud de 1.300 á 1 400 metros. Su nacimiento está próximo á los del Turia, Júcar y Cabriel, ríos que vierten en el Mediterráneo mientras que aquél muere en el Atlántico. Se dirige al NO. por entre el Puntal del Corzo, la Mogorrita de Ocejón y el cerro de San Felipe, á la izquierda, y la muela de San Juan y Sierra de Navasequilla, á la derecha, quedando el río encerrado por estos accidentes en un lecho profundo, de escarpes verticales de rocas, aumentándose el caudal del mismo del agua que brota de manantiales abundantes existentes en los espesos bosques de pinos que por aquella parte se hallan. A poca distancia de su origen penetra en la provincia de Guadalajara y continúa en ella por las altas mesetas de la Alcarria, pasando con la dirección indicada cerca de los pueblos de Masegoso, Peralejos, Poveda de la Sierra y Viliar de Cobeta. Al S. de este pueblo, entre él y Zaorejas, forma el Tajo un exten-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

so arco cuya convexidad vuelve al N. corriendo por profundos barrancos cortados á pico y cambia, desde el principio de dicho arco en que confluye el río Gallo, su rumbo hacia el SO. para dirigirse por Ocentejo, Trillo y Alocén, confluencia del Guadiela. Desde aquí sigue á Zorita y Driebes: sale de la provincia de Guadalajara y entra en la de Madrid por Estremera, corriendo después por Fuentidueña, Villamanrique y Aranjuez donde se le une el Jarama, y más adelante, por Añover y Algodor, hasta Toledo. En esta capital deja la orientación general hacia el SO. que traía, y se arrumba derechamente al O., salvo en las inflexiones que frecuentemente se ve obligado á hacer, siendo las más notables las de La Puebla de Montalbán y Talavera, y bajo esta orientación general cruza el resto de la provincia de Toledo, pasando además de por los últimos pueblos citados por Puente del Arzobispo y otros de menor importancia; atraviesa después la de Cáceres, tocando en Almaraz, Serrejón, Garrovillas y Alcántara. Trece kilómetros aguas abajo de Alcántara, se le une por la derecha el Erjes ó Eljas, desde cuya confluencia sirve el Tajo de separación entre la provincia de Cáceres y Portugal, penetrando en esta nación por el NO. de Peraes.

Naturalmente se halla dividida la cuenca, cuya línea se ha marcado á grandes trazos, en tres regiones: Oriental, Central y de Occidente. Comprende la primera las de Albarracín y de Molina y los escabrosos terrenos de la provincia de Guadalajara, hasta Zorita, siendo en esta sección estrecho y tortuoso el cauce del río, aprovechando sus aguas para el transporte de maderas y establecimiento de artefactos industriales y de una longitud de 200 kilómetros próximamente. La segunda abraza desde Zorita á Puente del Arzobispo; es de muy diferente estructura topográfica que la anterior, más abierta á los riegos y á los cultivos agrícolas, y en ella se ven á uno y otro lado del álveo del río extensas y ricas vegas, como la de Driebes, Estremera, Fuentidueña, Villamanrique, Aranjuez, Añover, Algodor, La Puebla de Montalbán, El Carpio, Cebolla, Malpica y Talavera.

Desde Puente del Arzobispo, en que comienza la tercera sección, hasta la frontera de Portugal, donde termina, el Tajo vuelve á encontrar análogos obstáculos y dificultades en la parte alta de su cuenca, viéndose obligado con frecuencia á torcer bruscamente su curso y á cortar á tajo las muchas sierras que se oponen á su paso, encerrándose á veces en estrechos callejones. Cruza, pues, toda Extremadura por un lecho de abruptas y ásperas márgenes.

Los afluentes que el Tajo recibe por su margen derecha son mucho más importantes que los de la izquierda, debido á que las

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sierras que forman la barrera N. son más elevadas y más abundantes en nieves que las que la limitan por el S. y también por la mayor área de la parte de aquélla que se extiende sobre la citada margen derecha. Por la parte izquierda de la cuenca los afluentes son torrenciales y de corto curso, consecuencia natural de la proximidad de la divisoria al álveo del río y de la sequedad de la comarca, excepción hecha del Guadiela y del Almonte.

Empezando por los afluentes de la derecha, el primero que merece ser mencionado es el Oceseca, que baja del puerto de Bronchales en la sierra del Tremedal, cruza en dirección O. la dehesa del Pajares y va luego á dar sus aguas al Tajo. Se encuentra después el Cabrilla, el que, descendiendo de Orca, Checa y Chequilla, va por un valle áspero, formado por elevados cerros cubiertos de pinos; ábrese luego paso por un elevado páramo, cubierto de bosque en su izquierda, y afluye después al Tajo. El río Gallo, primer afluente importante de la derecha del Tajo, nace en las inmediaciones de Orihuela del Tremedal, provincia de Teruel, entra en la sierra de Tremedal y la Muela de Orihuela, y, dirigiéndose hacia el N., entra á corta distancia de su origen en la provincia de Guadalajara, pasando por los pueblos de Motos, Alustantes, Piqueras, Adobes y El Pobo. En este punto deja el rumbo anotado, inclinándose hacia el NO. por la línea que marcan Tordellego, Hombrados y Molina de Aragón, y aquí dobla más al O. á buscar su desagüe en el Tajo, que tiene lugar por debajo de Villar de Cobeta, pueblo, como todos los anteriores, de la provincia de Guadalajara. Recibe como principales afluentes el Bullones, que, paralelamente al Tajo, corre por Terzaga y Tierzo, uniéndose al río Gallo por su izquierda, y el Arandilla que va por Cobeta, afluyendo por su derecha al Gallo. Viene después el río Ablanqueja, que de N. á S. baja de Morrón del Tejar y Peña Cordeza, regando las huertas de Ablanque y uniéndose después al arroyo de la Riva, que baja de Saelices.

El Jarama es el más importante de los afluentes del Tajo, por la extensión de su cuenca y por su caudal. Recoge las aguas de la vertiente S. del trozo del sistema Central, comprendido entre Siete Picos y su unión con el grupo Ibérico, y las de las faldas occidentales de Sierra Ministra hasta los altos de Maranchón. Por el E. limitan su cuenca los suaves lomos que sirven de divisoria al Tajo y al Tajuña, y por el O. el contrafuerte que arranca de Siete Picos, y que, dirigiéndose al S., separa los ríos Manzanares y Guadarrama. Nace el río Jarama al E del puerto de Somosierra, cerca del pico de Ocejón, de 2.063 metros de altitud, y de la unión de las tres provincias de Segovia, Madrid y Guadalajara, y corre por esta última, pasando por Colmenar de la Sierra,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

donde comienza á formar un extenso arco, que se desarrolla por los pueblos del Vado, Valdesotas y Valdepeñas de la Sierra y Uceda, donde se le une el Lozoya. Desde este punto toma la dirección general al S., sirviendo de límite á las provincias de Guadalajara y Madrid, hasta el Mediodía de Uceda, cuyos terrenos riega; penetra en seguida en la de Madrid, sin perder el rumbo indicado, y la cruza de N. S., según la línea que próximamente jalonan los pueblos de Talamanca, Fuente el Fresno, Paracuellos de Jarama, San Fernando, Velilla de San Antonio, San Martín de la Vega, Ciempozuelos y Aranjuez, en cuyas cercanías vierte al Tajo. Al entrar en la estepa castellana corre el río por un valle malsano y despoblado, en el cual se empantana por falta de pendiente; pero desde el puente de Viveros, hacia abajo, el paisaje cambia de aspecto merced á importantes aprovechamientos de las aguas de aquél, con las cuales, y por diversos canales, se riegan San Fernando y sus inmediaciones, el Soto del Peral y parte de los términos de San Martín de la Vega, San Esteban, Ciempozuelos y Seseña.

Son afluentes del Jarama el Lozoya, que, teniendo su origen en la laguna de Peñalara, al pie del pico de esta denominación, corre en dirección NE. por el valle de su nombre, pasa luego junto al Monasterio del Paular por Rascafría, Lozoya y Buitrago. Un poco más abajo de éste cambia su dirección al S. cuando recibe el arroyo de los Puentes, que viene de Somosierra, y por un valle bastante estrecho entra en La Cabrera. Obligado por las peñas de este nombre á cambiar al E., sigue en esta dirección las faldas septentrionales del cerro del Almagón y se une al Jarama después de dar sus aguas al Canal de Isabel II; el río Guadalix, que, procedente del estribo que forma la derecha del Lozoya en su principio, pasa por Miraflores de la Sierra, Guadalix y San Agustín; el río Henares, que nace en la Sierra Ministra, junto á Horna, en la provincia de Guadalajara, y corre por ella en dirección al Sudoeste, pasando por Sigüenza y Jadraque y por entre Cañamares y La Bodera; cruza las alturas que ligan á Alto-Rey y el Padrastro de Atienza, continuando después á Congostrina, Castilblanco y Guadalajara. Sigue, á partir de aquí, por un valle solitario, limitado en su orilla izquierda por mesetas escarpadas; entra luego en la provincia de Madrid por los Santos de la Humosa, sigue por Alcalá y desemboca en el Jarama por Mejorada del Campo, teniendo como afluentes el Río Cañamares, que nace en la sierra del Torreplazo, divisoria con el Duero, junto á Bañuelos, y afluye al Henares, por su orilla derecha; el río Bornoba, que después de cruzar la laguna de Somolinos y seguir las faldas de Alto-Rey, recorre el término de Hiendelaencina y baja á aumen-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tar con su escaso caudal el no muy abundante del Henares, y, finalmente, el Sorbe, que es el afluente más importante del Henares, el cual baja de la cordillera Carpetana, y pasando por Galve recoge en este sitio los arroyos que provienen de los pequeños y numerosos estribos de aquélla; corre luego entre el pico de Ocejón y Alto-Rey á Almiruete y Beleña, y desemboca en el Henares frente á Alarilla.

El Manzanares es el afluente del Jarama siguiente al Henares. Baja del puerto de Navacerrada, atraviesa de NO. á SE. la provincia de Madrid por su sección central, pasa por cerca de Colmenar Viejo, el Real sitio de El Pardo y Madrid, cuya capital rodea por su parte meridional, y va á verter en el Jarama.

El Tajuña es el último de los afluentes del Jarama digno de ser reseñado. Nace en los altos de Maranchón y de Clarés, de la Ibérica, y en igual dirección que el Henares y Tajo, por entre los cuales corre, va en su principio por un valle algo áspero, debido á sus bosques y lo profundo que en aquella parte se presenta el cauce del río, despejándose después el valle notablemente; pasa el Tajuña por Luzón, Anguita, Abánades, Yecla y Brihuega. Sigue luego á Armuña y Ambite, y recibiendo en este sitio el arroyo Valmores, baja á Titulcia, donde rinde sus aguas al Jarama.

El Guadarrama, río que sigue al Jarama entre los afluentes de la derecha del Tajo, nace en la sierra de su nombre y puertos del Fuenfría y Navacerrada. Corriendo en un principio en dirección Sudoeste, se despeña por entre los montes escarpados que en aquella parte de la sierra existen. Cambia su dirección al S. por entre las sierras de Guadarrama y de Reoyo, pasa por Villafranca del Castillo, donde se le une el Aulencia, que baja de El Escorial. El lecho de este río se extiende por la sección occidental de la provincia de Madrid y oriental de la de Toledo.

De poca importancia son los ríos que siguen al Guadarrama por la orilla derecha del Tajo hasta llegar al Alberche. Nace éste en la fuente de su nombre, en la parte occidental de la loma de la Cañada Alta (provincia de Avila), y corre al E. en un principio encerrado en un estrecho y profundo valle, limitado por la Serrota, las Parameras y la sierra de Malagón por su izquierda, y por la sierra de Gredos por la derecha; pasa así por Hoyocasero, Navadijos, Navalosa, Navalillos y El Tiemblo, de la provincia de Ávila; entra á poco en la de Madrid por cerca de San Martín de Valdeiglesias y llega á Aldea del Fresno, en donde gira bruscamente á SO. Desde Aldea del Fresno se dirige á Villa del Prado, y de aquí, por Méntrida y Escalona (Toledo), á Talavera de la Reina, al E. de la cual verifica su confluencia. Varios son los afluentes del Alberche por una y otra orilla, mereciendo nom-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

brarse por su caudal y curso los siguientes: el arroyo Tórtoles, que nace entre las peñas de Cenicientos y de Cadalso y desciende por entre San Martín de Valdeiglesias y el convento de Guisando; el río Cofio, que en dirección SO. va siguiendo las faldas occidentales de los cerros de San Benito y de la Almenara; el río Perales, que corre paralelamente al Cofio por las faldas opuestas de la sierra, y otros varios sin importancia.

Después del Alberche sigue el Tiétar; nace en el puerto de la Venta del Cojo, en el límite de las provincias de Madrid y Ávila, y corre por ésta en dirección ENE. á OSO., hasta que por debajo de La Adrada se le une el arroyo Franquillo. En este punto comienza la línea de separación entre Toledo y Ávila, cuyo límite sigue en toda la parte común de las dos provincias, excepto en un pequeño trozo del término de Lanzahita (Avila), el cual cruza el río por su sección más meridional. Por el confín, pues, de las dos provincias citadas y de la de Cáceres penetra en ésta al mismo tiempo recibe el Alardos, y sin abandonar la dirección anotada continúa su marcha por Extremadura, pasando los términos de Villanueva de la Vera, Talayuela, Majadas y otros, y vierte en el Tajo por Villarreal de San Carlos. Sus afluentes, aunque de escasa importancia, la adquieren colectivamente por su número particularmente los de la margen derecha, que, ya con el nombre de arroyos ó ríos, se suceden con mucha frecuencia, conduciendo al Tiétar las aguas de las faldas meridionales de la sierra de Gredos. Son dignos de mención el río Rama-Castañas, que, bajando del puerto del Pico y Mombeltrán, pasa por un barranco bastante áspero; el Arenal, que desciende de Gredos por la villa de su nombre y por Arenas de San Pedro; el Guadyervas, que tiene su origen al N. de San Román, cruza un terreno cubierto de espesos bosques, recorre luego un páramo extenso por entre Montesclaros y Mejorada, y, descendiendo á las Guadyervas, cambia después bruscamente su dirección occidental para desembocar al Norte en el Tiétar; el Alardos, el Minchones y el Cincho, que corren por La Vera de Plasencia, los cuales descienden de las sierras de Cuartos y de Tormantos y con corriente constante desembocan en la derecha del Tiétar, y el río Redondo, que baja de Pasarón á desembocar junto á la barca de Bazagona.

Después del Tiétar no afluye al Tajo por su margen derecha ningún curso de agua digno de ser reseñado hasta llegar al río Alagón, el más importante de los tributarios del Tajo dentro de la provincia de Cáceres; sus orígenes, aunque dudosos y bastante debatidos, concuerdan la mayoría de los geógrafos en considerarlos en las faldas meridionales de la Peña Gudiña y sierra de los Herreros.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En su principio se dirige derechamente al S., pasando por Frades de la Sierra, Endrinal y Sotoserrano, entrando después en la provincia de Cáceres por el NNE. de Granadilla, continuando con el rumbo general antes dicho, algo más inclinado al S. hasta su unión con el arroyo de las Monjas, un poco más abajo de la confluencia del Jerte en Galisteo. En dicho punto tuerce rápidamente al O., marchando por las vastas llanuras que median entre Galisteo y Coria, y desde aquí, hasta su desembocadura en el Tajo por el NE. de Alcántara, recobra la dirección primitiva y general de su curso, dejando las citadas llanuras en el encuentro con la ribera de Gata para abrirse lecho en el resto de su recorrido por entre ásperas caídas y abruptas laderas. Recibe el Alagón los siguientes tributarios: el río Cuerpo de Hombre y el Batuecas; el primero baja de las faldas meridionales de la sierra de Béjar y pasa circuyendo la ciudad de este nombre, y el segundo nace en el valle de su nombre, y el río Ambroz, que nace en el puerto de Baños. El Jerte es el afluente más importante del Alagón. Nace en las caídas meridionales del puerto de Tornavacas (Cáceres), al NE. de la villa de este nombre, por la cual corren sus aguas. En dirección SO. pasa por el valle de Plasencia, limitado por las sierras de Tormantos y de las Casas, y por la sierra de la Cabrera ó Tras la Sierra. En este valle pasa el Jerte por Cabezuela y Navaconcejo, y siguiendo después la falda septentrional del cerro del Castillejo, que le obliga á hacer un recodo, entra en Plasencia. Desde aquí se dirige el Jerte al NO., formando un gran arco alrededor del cerro de Berenguel y desagua en Aldehuela, próximo á Galisteo.

Después del Alagón viene el Eljas como último afluente de la derecha del Tajo, dentro del territorio español; merece ser reseñado. Nace en la sierra de Jalama, al N. de Eljas y del puerto de Valverde del Fresno; corre de N. á S., entrando en España por el término de Valverde del Fresno, dentro del cual empieza á servir de línea de frontera entre España y Portugal hasta su unión con el Tajo por el O. de Alcántara. Es de escasa importancia, atendiendo á su caudal y curso.

El primer río importante que desagua en la margen izquierda del Tajo es el Guadiela. Este río se desarrolla por la región N. de la provincia de Cuenca, dentro de la cual nace en las fuentes de la Muela de la Pinilla, término de Cueva del Hierro; dirígese á Beteta, por donde pasa, y sigue por las jurisdicciones de Badillos, Santa Cristina, Alcantud, Priego y Villar del Ladrón, en cuyo término y siguientes sirve de límite el río á las provincias de Guadalajara y Cuenca, incorporándose al Tajo en el sitio conocido con el nombre de Hoya de Bolarque. Su dirección general es

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de E. á O., corriendo el río por un valle tortuoso y agreste poblado de monte, al cual afluyen las corrientes de la parte N. de la provincia que alimentan el caudal de aquél, siendo las principales las del Cuervo, Escobos, Merdanchel, Mayor y Jaraleza.

Las corrientes de agua que afluyen al Tajo por su margen izquierda después del Guadiela y antes del Almonte, este último el más importante de todos los de dicha margen, son de escasa importancia. Entre ellos se encuentran el río Guajaraz, procedente de la dehesa del Castañar y del cerro del Cielo, y el cual desemboca en el Tajo antes que el Guadarrama; el Cuevas, que baja de los cerros de San Pablo, en la divisoria con el Guadiana, por Menasalbas y Gálvez; el Pusa, que va por un valle extenso, en el cual asientan Los Navalmorales de Toledo, Pusa y San Martín de Pusa, desaguando junto á Pueblanueva; el Sangrera, que por un terreno llano baja á San Bartolomé de las Abiertas y al despoblado de este nombre, en cuyo término vierte al Tajo; el Gébalo que desciende de la sierra de Piedra Escrita por las huertas de Alcaudete de la Jara, y el Huso, que, bajando de la sierra de Sevilleja, va por un barranco faldeando la sierra de Altamira y el Pedroso.

El río Monte ó Almonte pertenece por completo á la provincia de Cáceres; dentro de ella nace y en ella vierte en el Tajo. Su cuenca está formada por las sierras de Campillo y Mirabete al E. y N.; por la cordillera Oretana al S., desde las Villuercas hasta la sierra de Motánche, y al O. por un estribo que en dirección NO. va por las sierras de Fuentes, Garrovillas y Cáceres á terminar en barrancos profundos en el Tajo.

Nace el Almonte en las faldas occidentales del territorio de las Villuercas; al SE. de la provincia y en la primera parte de su curso se precipita al N., pasando por Solana, Naveruelas y Roturas. Al afluir el arroyo Garcías hasta el término de Jaraicejo vuelve su rumbo de SE. al NO., y desde aquí á la venta de la Barquilla, por donde pasa. Desde la mencionada venta comienza á inclinarse suavemente al S. á buscar el pueblo de Monroy, y la confluencia con el río Tanuya, guardando entre los puntos extremos el rumbo de NE. á SO., y de la citada confluencia hasta la desembocadura en el Tajo por encima de las barcas de Alconétar, toma de nuevo la dirección de SE. á NO. que siguió desde el arroyo Garcías á Jaraicejo.

Afluentes del Almonte: el Tamuja, que nace en la sierra de San Cristóbal, desciende á Botija en dirección N., recibe las aguas del Gibranzo y luego del Magasca, el cual baja del Puerto de Santa Cruz y pasa por Trujillo, corre luego por orillas sumamente escarpadas y afluye al Almonte en las fuentes de Don Francisco;

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el Guadilabo, que baja de la Sierra de Montánchez y recoge las aguas de los montes en que asienta Cáceres, y Villarejo, de muy poca importancia.

Los materiales que forman la cuenca del Tajo, geológicamente considerados, se agrupan del modo siguiente: en la parte alta de aquélla, en lo que pudiera llamarse cabeza del río y región de sus primeros afluentes, se encuentran los del período secundario en sus tres formaciones: triásica, jurásica y cretácea, dominando la segunda sobre las otras dos. Por el centro y S. de las provincias de Guadalajara y Madrid se extiende la formación miocena, limitada al NO. por una línea formada por el cauce del Henares hasta su unión con el Jarama; pasa después por la capital de España, y desde éste se dirige al S. de Leganés, Fuenlabrada y Casarrubielos, penetrando por el partido de Illescas en la de Toledo. Al NO. de dicha formación existe una faja cuaternaria que desde el partido de Torrelaguna, baja, comprendiendo porciones más ó menos grandes de los de Colmenar Viejo, Alcalá de Henares, Madrid, Getafe, Navalcarnero, Illesca, Torrijos, Puente del Arzobispo y Navalmoral de la Mata; sobre ellas están las formaciones graníticas gnéisicas que constituyen la mayor parte de la sierra de Guadarrama y de Gredos, y por debajo de la formación terciaria citada imperan los terrenos de transición, salpicados de islotes graníticos, siendo el más notable el que, comprendiendo parte de los montes de Toledo, se desarrolla por los partidos de Orgaz, Navahermosa y Toledo.

CUARTA PARTE.- *Cuenca del Guadiana.*—La porción española de su cuenca es menos montañosa y poblada de vegetación leñosa que las del Duero, Tajo y Guadalquivir, y las lluvias y demás hidro-meteoros más escasos. Deslindan la región del Guadiana: por el N., el sistema de los montes de Toledo; por el Oriente, las altas mesetas que desde los altos de Cabrejas (Cuenca) se extienden hacia el Mediodía hasta el arranque de la sierra de Alcaráz (Albacete), y por el S. la cordillera Mariánica, debiendo recordarse que, por la índole de este macizo, las líneas aparentes de sus crestas no coinciden, en ocasiones, con la verdadera divisoria de aguas entre el Guadiana y el Guadalquivir, que por regla general, avanza más al N. que aquéllas. Dentro de este perímetro se hallan comprendidas porciones de las provincias de Toledo y Albacete, la región austro-occidental de Cuenca, casi todas las de Ciudad Real y Badajoz, excepto en sus proximidades con Sierra Morena, la parte N. de Córdoba, el Occidente de Huelva y la sección meridional de Cáceres.

Limitándonos á hacer una reseña de los cursos de agua de la cuenca del río que nos ocupa en forma idéntica á la que hemos

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

hecho para los demás, podemos decir: De las lagunas de Ruidera, enclavadas en los confines de Ciudad Real y Albacete, ó, mejor dicho, de la divisoria general de aguas al Mediterráneo y al Atlántico, toma principio el Guadiana alto, el cual corre hacia las lagunas y pasa de unas á otras por canales de suave pendiente ó por cascadas, entrando en la provincia de Ciudad Real. A partir de la última laguna, el terreno se abre notablemente hacia las inmensas llanuras de la Mancha, por las que se deslizan las aguas del Guadiana alto, llegando á Argamasilla de Alba. Encauzadas las aguas, van éstas por cerca de Tomellòso y empiezan á desaparecer las mismas por filtración pasados los dos puentes de Argamasilla y el de Cervera, las cuales llegan á desaparecer del todo, entre juncos y espadañas, en el Herradaro de Guerrero, llegando en épocas de avenidas hasta el mismo Záncara, que se desarrolla próximo á aquel lugar. Es creencia muy admitida que las aguas perdidas reaparecen en las fuentes Ojos del Guadiana, y los que así creen no ven en el Guadiana otro río que la continuación del Guadiana alto, y por consiguiente, como orígenes de aquél los mismos de éste. Mas piensan otros, y al parecer con más fundamento, que hallándose mucho más cerca al Záncara el sitio en que se pierden las aguas del Guadiana alto, que no á los Ojos del Guadiana, y siendo de análoga naturaleza los terrenos que separan ambos ríos que la señalada antes, es natural suponer que las aguas, al perderse, se esparcen por las diferentes capas permeables del suelo, yendo á parar en su mayor parte, ya que no en su totalidad, al Záncara, permitiéndolo, como lo permiten, sus condiciones topográficas y geológicas. En este trabajo se considerará como nacimiento del Guadiana las fuentes Ojos del Guadiana.

En el término de Villarrubia, de la provincia de Ciudad Real, y en el sitio denominado Ojos del Guadiana, brota ya en manantiales naturales llamados Ojos. El río, en esta parte, se presenta cubierto de fuerte vegetación y aspecto pantanoso, y á los 880 metros del origen se encuentra el manantial principal, de gran profundidad, llamado Ojo de Mari-López. El cauce del río en un principio se presenta extenso y de aspecto pantanoso, lo que hace poco saludables las vegas ribereñas. En dirección á Occidente, y pasada la confluencia con el Azuer y al Cigüela, corre al Guadiana por Peralvillo de Arriba y Picón, donde tuerce rápidamente al S. La margen derecha del Guadiana empieza á accidentarse por las últimas estribaciones de los montes de Toledo. De Picón sigue el río á pasar por Alcolea de Calatrava y Poblete, y después de recibir el Javalón, cambia al NO., entrando en un terreno áspero y quebrado sin perder la orientación general de su curso;

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

pasa por Pozuelos de Calatrava, Luciana y Puebla de Don Rodrigo. Más adelante, en unión con el Valdehorno, sale el Guadiana de la provincia de Ciudad Real y entra en la de Badajoz, siguiendo ya en ésta por el pie de Villarta de los Montes y de Helechosa hasta Aijón, ó, mejor, hasta la confluencia con el Estena, cerca del confín de Toledo, Badajoz y Cáceres, en que otra vez gira bruscamente al SO. para dirigirse por los pueblos de Castilblanco, Casas de Don Pedro, Orellana la Sierra y Orellana la Vieja. Desde este punto el curso del Guadiana va modificando su rumbo general al Occidente y recorre los términos de Villanueva de la Serena, Don Benito, Medellín, Valdetorres, Villagonzalo, Don Álvaro, Mérida, Montijo, Talavera la Real y Badajoz. Desde Badajoz cambia un poco su rumbo al SO., á buscar la frontera de Portugal, la cual sigue, sirviendo de separación á dicha nación con España hasta la confluencia por la izquierda con el Priega Muñoz, en que penetra en el Alemtejo; recorre en dicha nación un curso de unos 150 kilómetros y vuelve á ser fronterizo desde su unión con la ribera de Pomarao hasta la desembocadura en el Atlántico por Cabeza Alta, del término de Ayamonte (Huelva), separando este término del de Villarreal, de Portugal. La pendiente de este río es suave, por lo general, en casi todo su curso, habiendo zonas, como la que media entre sus orígenes y el cerro de Alarcos y de la confluencia del Zújar al puente de Mérida, en que llega al uno por mil. En cuanto á la altitud, indica el Sr. Coello que los Ojos del Guadiana se hallan á 608 metros sobre el nivel del mar, á 594 la confluencia con el Cigüela, 362 la del Estena, 250 la del Zújar, 196 en Mérida y 155 en Badajoz.

Numerosos son los afluentes que por ambas orillas llegan al Guadiana; los más importantes por su caudal y curso, empezando por los de la derecha, son: el primero el Gigüela, nace en los altos de Cabrejas, cerros que separan la vertiente oriental de las cuencas del Tajo y del Guadiana y con dirección á O., en su principio, va hasta el N. de Horcajada, habiendo pasado por Villar del Horno y Naharros, y de allí vuelve su rumbo al SO. recorriendo el Occidente de Cuenca y entrando en la provincia de Toledo por Corral de Almaguer, á buscar la confluencia de su tributario el Riansares á Poniente de Quero, después de haber tocado los pueblos de Villanueva del Cardete y La Puebla de Almoradiel. Desde dicha confluencia se dirige al S. por el término de Villafranca de los Caballeros, entra luego en el término de Alcázar de San Juan y unido al Záncara al S. de Herencia y Occidente de Puerto Lápiche, la corriente marcha al SO., llevando indistintamente el nombre de uno ú otro de los dos ríos que la componen, tocando en Villarta de San Juan y en Arenas de San

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Juan y vertiendo sus aguas al Guadiana por entre Daimiel y Malagón. Son principales afluentes de este río los dos mencionados Záncara y Riansares. Tiene su origen el primero en Abia de la Obispalía (Cuenca), muy cerca de los altos de Cabrejas; recorre en un principio con dirección S. un terreno muy elevado, pero llano y bastante fértil, perteneciendo en parte á la estepa castellana, y pasando por el pueblo El Provencio, rayano con la de Albacete gira á Occidente para marchar cerca del confín de ambas provincias y entrar en la de Ciudad Real por Socuéllanos en busca del Gigüela en el punto de su confluencia ya indicado. El Riansares, de menor curso y caudal que el Záncara, recorre sólo la parte occidental de Cuenca perteneciente al partido de Tarancón y el de Lillo de Toledo, regando Corral de Almaguer, y pasando cerca de Villacañas, va á desaguar en el Gigüela al Poniente de Quero, según antes se ha dicho. A uno y otro de dichos ríos llegan por ambas orillas arroyadas y corrientes de escasa importancia consideradas individualmente, pero que por su número contribuyen en determinadas épocas del año á engrosar considerablemente el caudal de aquéllos.

También se le une al Gigüela, por el Mediodía de Herencia, el Amarguillo, provinente de las vertientes al N. de la Calderina, en Urda, formando su cauce un extenso arco desde su nacimiento hasta la desembocadura, cuya concavidad vuelve al S., y en el cual se hallan situados los pueblos de Urda, Consuegra, Madridejos, Camuñas, Villafranca de los Caballeros y Herencia. Los terrenos que componen el valle del Amarguillo son bastante quebrados, á causa de influir notablemente en su topografía los últimos ramales y estribaciones de los montes de Toledo; pero desde el Occidente de Consuegra en adelante el valle se extiende por las llanuras de este pueblo y de Madridejos y siguientes. Después del Cigüela sigue el Cambrón ó Bañuelos, de escasa importancia. Riega los terrenos de Malagón y Fernancaballero y desagua en el Guadiana por Peralvillo de Arriba.

Viene después el Bullaque, que es el segundo de los afluentes de alguna entidad que el Guadiana recibe por su margen derecha. Las sierras de Pocito limitan la cuenca del Bullaque por Oriente, y la de Chorito por Occidente y los montes de Toledo al Norte, suministrándole aguas de algunas arroyadas que en tiempos lluviosos acrecientan sensiblemente su caudal. Proviene este río de las vertientes meridionales de los montes de Toledo, en su sección más escabrosa, comprendida entre Navas de Estena, Retuerta, Molinillo y Emperador. Las aguas llovidas en esta sierra y las procedentes de fuentes naturales se reunen en una sola corriente por debajo de Retuerta y se dirige hacia el S., pasando

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

por el Occidente de Porzuna y de Piedrabuena y yendo á verter en el Guadiana por Luciana.

Después de este río y debido á la configuración que presenta la orilla derecha del Guadiana, pasada la confluencia del río anteriormente mencionado, pues estribos perpendiculares de la Carpetana que llegan hasta la misma orilla determinan pequeños valles, los ríos que vierten directamente en el Guadiana y que circulan por dichos valles son de escasa importancia. Tal sucede á los ríos Val de Hornos, Rubial y Estena, los cuales descienden de la cordillera entre la Galnida y el puerto de San Vicente. Sigue á estas escasas corrientes de agua el río Guadalupe ó Guadalupejo, que tiene su origen en las vertientes meridionales de la sierra de Guadalupe. De NO. á SE. corre á la villa de Guadalupe, siguiendo luego á Alía y dando sus aguas al Guadiana, cerca de la sierra de Valdecaballeros.

El río Ruecas nace en la Cordillera Oretana sobre la Villa de Cañamero, recogiendo aguas desde las Villuercas hasta cerca del puente de Santa Cruz. Baja á Logrosán, y, por entre los frondosos bosques de las Ruecas y en dirección de NE. á SO., llega á Madrigalejo. Tuerce al O. en este punto, entra en el Guadiana tocando al cerro de Batanejo.

El río Búrdalo, procedente del puerto de Santa Cruz y haciendo un gran recodo al S. por Villagonzalo y Don Alvaro, afluye en Valverde de Mérida al Guadiana.

Los ríos Aljucén, Alcazaba, Lucianilla y Guerrero, que siguen luego, no tienen agua constante y son más bien ramblas ó riberas, como son llamados en el país. Recogen aguas de las vertientes de la Carpetana. El primero pasa por Carrascalejo y cerca de Aljucén; el segundo baja de la sierra de San Pedro y pasa por Carmonita y Cordobilla, y los dos últimos, del puerto de la Aliseda.

El río Gévora, que sigue, es ya más importante que los anteriores, por su curso dilatado y sus abundantes aguas. Nace en Portugal, en las vertientes orientales de la Sierra de Sao Mamede; se dirige al E., y por la unión de dicha nación con Cáceres y Badajoz, penetra en esta última provincia recogiendo en La Codosera aguas procedentes también de Portugal. Desde dicho punto se dirige al pie de los cerros de Alburquerque y en ellos cambia bruscamente su rumbo hacia el S., penetrando luego un corto trecho en Portugal por el Campo Maior, y sale otra vez, con dirección SE., á la Extremadura española, donde, en Botoa, recibe las aguas del río del mismo nombre, girando al S. en busca del Guadiana, en el que desemboca por el Oriente de la ciudad de Badajoz.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Después del Gévora, todos los afluentes del Guadiana que vierten en él por su orilla derecha son procedentes de Portugal y se desarrollan en su territorio. De los afluentes de la margen izquierda del Guadiana el primero es el Azuer. Su nacimiento se halla próximo al del Guadiana alto. Corre desde los altos de Villanueva de la Fuente, y regando con sus aguas las vegas de pequeños pueblos, llega á La Solana, Membrilla y Manzanares; prosigue luego al despoblado de Moratalaz, y pasando por Daimiel, afluye al Guadiana por el bosque de Zacatena.

El río Javalón es el primero de relativa importancia de la margen izquierda. De Santa Cruz de los Cáñamos, en el campo de Montiel, arranca el río mencionado, dirigiéndose á O., orientación que guarda hasta su confluencia con el Guadiana, al N. del Canal de Calatrava; realiza por completo su curso en la sección meridional de Ciudad Real por un cauce que es bastante tortuoso á causa de lo movido de las laderas inferiores del valle y que pasa, entre otros, por los términos de Montiel, Cózar, Castellar de Santiago, Torrenueva, Valdepeñas, Granátula de Calatrava, Aldea del Rey y Hervideros de Fuensanta.

Después del Javalón vierten al Guadiana directamente otros dos ríos de escasa importancia; el río de la Vega, que pasa por Abenójar, y el Bezaire en Badajoz.

El Zújar, Zúja ó Súja es el más importante de todos los de la margen izquierda del Guadiana. Su cuenca está limitada: al S., por las sierras de la Grañe, de Peñaladrones y territorio de los Pedroches; al E., por la divisoria que, enlazando Sierra Madrona con la de Almadén, separa las aguas del Zújar de las primeras del Jándula y se prolonga hasta el puerto de la Tía Gila; de aquí sube por los altos de Saceruela y cuerdas que reparten aguas directamente al Guadiana y al Zújar hasta los riscos de Peloche. El límite de Occidente lo forman en parte las sierras del Pedroso y de los Torozos y las lomas de Malpartida de la Serena, Castuera y Don Benito, divisoria entre el Zújar y el Ortigas. Nace el Zújar en las faldas septentrionales de la Calaveruela (provincia de Badajoz) y cerca de la Granja de Torrehermosa recorre al NE., pasando por Peraleda de Zaucejo Monterrubio y Cabeza de Buey. En su principio marcha por el límite de la provincia de Badajoz con la de Córdoba, internándose luego un poco en ésta, antes de llegar á la estación de Belalcázar, punto desde el cual vuelve á ser límite de las mismas provincias, hasta que se unen con la de Ciudad Real, al mismo tiempo que confluyen el Guadalmez y el Zújar. Desde esta confluencia de las tres provincias y de los dos ríos, el Zújar se interna en Badajoz con rumbo al NO., pasando por Capilla, entre los Torozos y el Risco, que lo encajo-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

nan profundamente. Tuerce luego en Siruela al O., y va por Adelfa á encontrar al río Guadiana en Villanueva de la Serena. Por ambas márgenes recibe numerosas barrancadas y arroyos, algunos con la denominación de ríos, secos la mayor parte del año, siendo de ellos los más importantes el arroyo de San Pedro, que baja de Hinojosa y Belalcázar; el Guadalmez que, naciendo en la junta de los arroyos fuente del Zumajo y fuente de la Campiña, del término de Montoro (provincia de Córdoba), corre por esta provincia con dirección O., un poco inclinado al NO. A los 11 kilómetros de su curso entra en la provincia de Ciudad Real y sigue por ella pasando únicamente por cerca de Aldea Palacios, y entra en el Zújar por el término de Peñalsordo y sitio llamado Piedra Santa, de la provincia de Badajoz. El Gualemar que, teniendo su origen en el sitio llamado Zumajo Viejo, del término de Fuenlabrada (provincia de Badajoz), corre por la misma hasta el vado del Cordel, desde donde sirve de límite entre las provincia de Badajoz y Ciudad Real, vuelve á entrar en la primera provincia, la que recorre ya en todo su trayecto, y entra en el Zújar por la margen derecha en el sitio llamado la Junta, próximo al Cerro Masa del Trivo, del término de Esparraguera; y, finalmente, el río Molar, que nace en el término de Campanario, de la provincia de Badajoz, corre por la misma y entra en el Zújar por su margen izquierda por el sitio llamado Baca del Molar, próximo al cerro de San Miguel, del término de Villanueva de la Serena.

Sigue al Zújar el Ortigas. Nace en el puerto de las Palomas, del término de Zalamea de la Serena, pasa por La Guarda, Aldea y Mengabril y entra en el Guadiana tocando al cerro del castillo de Medellín.

Viene luego el Guadalmez. Desde su origen en la charca de Negrete, del término de Valencia de las Torres (Badajoz) hasta el arroyo Valde-Ruso, el terreno es bastante accidentado y el cauce tortuoso; recorre este río una parte de la Serena por el valle de la Serena y entra en el Guadiana por Valdetorres. Al Guadalmez sigue el Matachel. Nace en el sitio llamado El Retamar, del término de Azuaga, y cerca de los 14 kilómetros de curso desaparece el agua á causa de las filtraciones que se vienen notando desde el llamado Vado de la Regia, situado á los 11 kilómetos de su origen, y á los 27 kilómetros de éste vuelve á aparecer el agua en el cauce. Sus orillas no tocan en pueblo alguno y en el sitio llamado Don Alvaro afluye al Guadiana. Recibe como afluentes el Conejo el Retín, Valdemedel y Palomillas.

Tras el Matachel se halla el Guadajira. Tiene su origen en las fuentes llamadas Tocón y del Lanchal. Desde su nacimiento hasta el sitio donde afluye el arroyo de las Minas, el río es en gene-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ral bastante accidentado y el cauce estrecho é irregular. Pasa por cerca de los Santos de Maimona y Solana, y en el sitio llamado Cotorrito, término de Lobón y Talavera, da sus aguas al Guadiana.

El Albuera tiene su origen de la reunión de las aguas de la Alameda de Valdesencio y la Laguna, del término de Salvatierra, pasa por Albuera y vierte en el Guadiana por entre los sitios llamados El Bercial y El Bravío.

Al O. de Badajoz baja al mismo arroyo Rivilla, que nace en el arroyo manantial del Remellado y el de las Navas, y entra en el Guadiana tocando á las murallas de Badajoz.

Vienen luego el Rivera de Valverde, Táliga, Priega-Muñoz y Alcarrache; el primero nace en la sierra de Santa María, del término de Barcarrota. y entra en el Guadiana por el sitio llamado Malpica, del término de Olivenza; el segundo tiene su origen en la unión de los arroyos el Bónico y Valdemoreno, del término de Táliga; pasa por este pueblo y por Alconchel, y por este término, y en los sitios llamados Rincón de Olivenza y La Natera, afluye al río principal; el tercero se origina de la unión de los arroyos Charnecha y del Cubo, del término de Alconchel, y entra en el Guadiana en el sitio llamado El Rincón y Don Juan, y el cuarto, naciendo en el sitio llamado Sierra Brava, por la unión de los arroyos Contienda y de Los Lobos, del término de Salvaleón, entra en Portugal por el sitio denominado El Lujedo y La Contienda, del término de Villanueva del Fresno.

De mayor curso que estos mencionados es el río Ardila. Tiene limitado su valle por la divisoria general, desde Bienvenida hasta el extremo septentrional de la de sierra de Aracena, por el estribo que, empezando en la meseta de Bienvenida, termina en Olivenza, y en la orilla izquierda por los picos de Aroche y el ramal de Aracena, que en dirección N. se interna en Portugal, terminando en el Guadiana entre Moura y Serpa. Nace el Ardila en la sierra de Tudia y sus primeras aguas provienen de la fuente de su nombre. Se dirige al NO. hasta Valencia del Ventoso, donde cambia al O., y ya con algunas aguas pasa por entre Jerez de los Caballeros y Fregenal de la Sierra; entra en Portugal. Son afluentes de este río el Bodión y el Múrtiga.

Sólo resta que reseñar de los afluentes del Guadiana el río ó ribera de Chanza, de estrecha y reducida cuenca, bordeada por la sierra de Ficalho y picos de Aroche, á Occidente y N., y por la sierra de Andévalo al S. Nace en Cortegana (Huelva) al pie de la sierra de San Ginés; se dirige al NO. hasta Aroche y después al O. hasta Rosal de la Frontera, al S. del cual se le une el Alcalaboza por su margen izquierda. D esde esta confluencia cambia la

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dirección al SO., y á corta distancia de ella comienza á servir de frontera entre España y Portugal hasta su desembocadura en el Guadiana, recogiendo cerca de ésta por la citada margen izquierda las aguas del río Malagón, provinente de la Sierra Pelada. Por la derecha no entra en él corriente alguna que merezca indicarse.

En la región alta, por la cual corren el Riansares, Gigüela, Záncara, Guadiana alto, Azuer y primera parte del Guadiana hasta la orilla izquierda del Cambrón y derecha del Javalón, domina esencialmente el terreno terciario en su formación miocena con algunos avances, dentro de estos límites, de los terrenos de transición que se extienden por Occidente y la existencia de un manchón triásico en el campo de Montiel, otro en Alcázar de San Juan y pequeños afloramientos cretáceos situados de N. á S., en la divisoria del Gigüela y Záncara. Del granítico sólo hay una pequeña mancha entre Madridejos y Herencia. En la región central, desde Ciudad Real á Badajoz, imperan los terrenos de transición en sus formaciones siluriana y cambriana, con algunos asomos de la devoniana á uno y otro lado del río Bullaque, de reducidas manchas porfídicas en los alrededores de Castuera y Mérida, de una larga faja granítica que desde la provincia de Ciudad Real se dirige á Don Benito, en la de Badajoz, además de pequeñas manifestaciones de igual naturaleza en Montánchez y Mérida. Por el cauce del Guadiana, desde Villanueva de la Serena á Badajoz, se desarrollan los terrenos pospliocenos de más reciente origen, producidos por el depósito de los materiales arrastrados por la corriente.

Desde Badajoz hasta la desembocadura del río en el Atlántico, por Ayamonte, los terrenos estrato-cristalinos y graníticos y los de transición son los que invaden esta parte de la cuenca inferior del Guadiana, dominando aquéllos desde Badajoz hasta la altura próximamente de las sierras de Aracena, y éstos de las mencionadas sierras á la costa. En la vasta extensión que ocupan los primeros rompen la continuidad de las formaciones de la talquita, micacita y gneis numerosos, aunque pequeños; afloramientos de granito y de pórfidos magnesianos, un manchón cambriano que abraza gran parte de la cuenca del río Ardila y penetra en Portugal, dirigiéndose á Évora, y otro plioceno al Oriente y en las cercanías de Badajoz. De las sierras de Aracena al mar alteran la homogeneidad de los terrenos de transición débiles muestras en la cuenca de la ribera de Chanza, de las formaciones de los pórfidos feldespáticos y magnesianos y las marismas que se extienden á uno y otro lado de la desembocadura del Guadiana.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

QUINTA PARTE.—*Cuenca del Guadalquivir.*—Limitan esta cuenca: por el N., el sistema Bético; por el E., las sierras de Alcaraz, de Segura y Sagra; por el S., Sierra Nevada, de Almijara, de Tejeda, de Antequera y de Archidona; altas mesas y sierras del Campillo y Montellano y sierra de Gibalbín, y por el O., las llanuras pantanosas inmediatas al Guadalquivir y el lomo que cierra las cuencas del Odiel y del Tinto, contrafuerte de la sierra de Aracena. En este perímetro se hallan comprendidas porciones de las provincias de Huelva, Sevilla, Córdoba, Jaén y Cádiz.

El verdadero punto de origen del Guadalquivir es difícil de precisar con exactitud, estando formado este río por numerosas ramblas y barrancos de gran extensión y con idénticas condiciones. En los itinerarios de la Dirección de Obras públicas se fija este origen en el sitio llamado El Corralón, sobre la Cañada de Aguas Frías y á 433 metros agua arriba de su confluencia con la Cañada de las Fuentes.

El Sr. Mesa, en su reconocimiento hecho sobre este río, fija como origen probable de las aguas del Guadalquivir y de sus tributarios la llanura existente en la parte más alta de las sierras de Segura y en la llamada Sierra del Pozo, notables por su grande elevación sobre el nivel del mar.

Baja el Guadalquivir en su principio por el cauce formado por las sierras de Cazorla y Pozo-Alcón hasta la confluencia de la Cañada de las Fuentes, sitio por donde se reunen en forma de abanico las numerosas ramblas y barrancos de la sierra de Cazorla. Las laderas de la sierra, pobladas de espesísimos pinares, forman un cauce estrecho, interrumpido por grandes cascadas, formadas de peñones rodados de las laderas, siendo la más notable la última, llamada de Utrero. A partir de esta cascada el río pierde su carácter torrencial, y al llegar á Peñarrubia, distante 29 kilómetros del origen, su cauce se regulariza. Siguiendo su curso el Guadalquivir, cruza la unión de las sierras de Cazorla y de Cuatro-Villas por la garganta llamada el Salto ó Iranco de Monzoque, corte sumamente áspero; pasa luego contorneando por el S. la loma de Úbeda, y, al hacer esto, el valle empieza á abrirse, encontrándose en la loma los pueblos de Santo Tomé, Torreperogil, Úbeda y Baeza, que se hallan en la orilla derecha, y en la opuesta y á bastante distancia, la ciudad de Cazorla, sita en la falda occidental de la sierra de su nombre. Pasada la loma sigue el río por Mengíbar y Espelúy y continúa hasta Andújar. Desde esta ciudad prosigue á Villa del Río, Montoro, El Carpio y Alcolea, y entra en la capital de Córdoba. Continúa á Almodóvar del Río, Posadas y Palma del Río; corre tortuosamente por Lora del Río, Tocina y otros pueblos hasta Cantillana; cambia aquí su direc-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ción O. al S. y llega á Sevilla. Por bajo de esta ciudad se divide el Guadalquivir en tres brazos, llamados del E. ó de Tarfia, de En medio y del O. ó de la Torre. Estos brazos dan lugar á dos islas, la menor comprendida entre el primero y el segundo brazo, y la mayor entre el segundo y el tercero. Estas dos islas son bajas y encharcadas, así como los terrenos de las orillas, llenos de marismas. Unidos los tres brazos va á desembocar el Guadalquivir por una sola boca cerca de Sanlúcar de Barrameda. Es navegable este río desde Sevilla.

Los afluentes de la derecha del Guadalquivir son de corto curso y muy variable caudal, debido á lo ceñido que su cauce se halla por este lado á los estribos de Sierra Morena.

Los primeros afluentes que por su margen derecha recibe el Guadalquivir son las innumerables arroyadas y barrancos procedentes de las vertientes de Sierra Segura, siendo los más importantes, por el orden en que se presentan á partir del origen, la Cañada de Aguas Frías, Mojón Cubierto, Navahonda, Agracejal, Hoyazo, los Habares, las Mesas, Borosa, Aguas Mulas, las Grajas, Espumareas, Montera, Hornos y Aguas-Cebas. Después, hasta la confluencia del Guadalimar, la margen derecha se encuentra desprovista por completo de afluentes.

El Guadalimar, que es uno de los más importantes afluentes del Guadalquivir por su curso y caudal, nace al pie del cerro de la Almenara, en la provincia de Albacete, á seis kilómetros por encima del pueblo de Villaverde, del partido de Alcaraz. Su nacimiento se halla á 1.120 metros sobre el nivel del mar y pasa por los términos de Villarrodrigo, Siles, Benatae, La Puerta, Beas de Segura, Sorihuela, Castellar, Santisteban, Navas, Villanueva del Arzobispo, Iznatoraf, Villacarrillo, Rus, Linares, Ibros, Úbeda, Baeza, Torreblascopedro y Jabalquinto.

En sus primeros kilómetros corre encauzado en un estrecho valle, formado por elevados contrafuertes de Sierra Segura, hasta recibir el río Guadalmena. Desde esta confluencia el Guadalimar sirve de separación á las lomas de Chiclana y de Úbeda. Cambiando su rumbo O. al S. de la confluencia con el Guadalén, va luego á dar sus aguas al Guadalquivir más abajo de la estación de Baeza. Son tributarios de este río: el Siles, que, naciendo en el puerto de Beas, recoge las aguas del Yelma y del Orcera; el Guadalmena, que nace en la sierra de Alcaraz y desemboca en el Guadalimar por el sitio llamado Prado Redondo; el Beas, que nace en uno de los contrafuertes de la sierra de Segura, y el Guadalén, que nace al S. de los altos de Albaladejo, en la provincia de Ciudad Real, y se incorpora al Guadalimar por el sitio denominado Mira el Río.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Inmediatamente al O. del Guadalimar se encuentra el Guadiel, de escasa significación por su corto caudal. Nace en el campo de las Navas de Tolosa, de las colinas de Sierra Morena, y pasando por las inmediaciones de Bailén, desemboca un kilómetro agua abajo del puente de Mengíbar.

Sigue después el Rumblar, como el precedente dirigido de N. á Sur desde lo más áspero de Sierra Morena á su desagüe en el Guadalquivir, entre Bailén y Andújar. Baja de La Cima del Rey, provincia de Ciudad Real, á la de Jaén por un valle estrecho y montañoso.

Al O. de Andújar é inmediato á esta población vierte en el Guadalquivir el Jándula, río que proviene de las vertientes de las sierras de Almadén y Madrona y que baña en la primera porción de su curso la mitad oriental del valle de Alcudia. Al salir de éste recoge, reunidas ya, las aguas de los riachuelos de Puertollano y Fresnedas, procedente de Brazatortas el primero y de las cercanías de Viso del Marqués el segundo.

Después del Jándula se encuentra el Yeguas, que nace en los baños de Fuencaliente, recibiendo sus primeras aguas de la sierra de Quintana; corre al S. por un estrecho y despoblado valle que en toda su longitud sirve de separación á las provincias de Córdoba y Jaén y va á desaguar en el Guadalquivir frente á Villa del Río.

Entre El Carpio y Córdoba vierte el Guadalmellato. Se forma este río de la reunión de los pocos importantes Guadalbarbo, Cuzna, Gato y Varas, cuyos orígenes se hallan en el espacio que media desde Puerto Rubio, al E. de Bélmez, en que nace el primero, hasta el punto de separación de las vertientes al Yeguas y al Guadalmez, tributario éste del Guadiana.

Las sierras de la Grana y de los Santos, que forman parte de la cuenca carbonífera de Espiel y Bélmez, determinan las vertientes á un nuevo río á Occidente del anterior, conocido con el nombre de río Guadiato. Nace en La Calaveruela, al SO. de Fuenteovejuna en el límite de las provincias de Córdoba y Badajoz; se dirige primero al NE. por la derecha del citado pueblo de Fuenteovejuna, y al traspasar éste vuelve el rumbo hacia el SE. para internarse por el valle formado por las sierras indicadas, pasando por Bélmez y Espiel. Continúa marcando más el cambio de su dirección al S., y bordeando las vertientes septentrionales y occidentales de la sierra de Córdoba va á verter en el Guadalquivir entre Almodóvar y Posadas.

A Poniente del Guadiato se encuentra el Bembézar, que tiene también su origen en La Calaveruela, al N. de Azuaga, provincia de Badajoz; dirígese al S. y entra en la provincia de Córdoba al

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Este por el pie de las faldas meridionales de la sierra de los Santos, de la cual se separa poco á poco, inclinándose de nuevo al Sur y desaguando en el Guadalquivir entre Posadas y Palma del Río.

Se halla después la ribera del Huesna, que toma sus primeras aguas en el enlace de las tres provincias de Córdoba, Badajoz y Sevilla, y corre por esta última en dirección al S., pasando por Cazalla de la Sierra y El Pedroso.

Yendo siempre á Occidente se encuentra á continuación de la ribera del Huesna el río Viar, que nace en un dilatado y espacioso valle en término de Monesterio, en el enlace de las sierras de Tudia y de Llerena, provincia de Badajoz. Pasado el valle que forma la cabeza de la cuenca del río, corre éste encajonado por entre abruptas montañas y penetra en la provincia de Sevilla, donde el valle se hace todavía más escabroso. Al dejar la provincia de Badajoz y entrar en la de Sevilla se le une el Benalijar, procedente de Guadalcanal, y ambos reunidos marchan en dirección al S. con el nombre del primero, desaguando por Cantillana en el Guadalquivir.

Hállase después del Viar el río Cala ó ribera de Cala, el cual se desprende del mediodía de la cumbre principal de la sierra de Tudia, dirigiéndose primero al SE. y luego al S. por el límite común de Badajoz y Sevilla. Ya en esta última provincia recibe por la margen derecha la ribera de Huelva, procedente de las vertientes septentrionales de la sierra de Aracena, y por la izquierda el río Culebrín y algún otro de poca consideración, reuniéndose todos en un solo brazo más abajo del pueblo El Ronquillo (Sevilla) y desaguando en el Guadalquivir por el N. de la ciudad de Sevilla.

Resta sólo reseñar el Guadiamar de los ríos que llegan al Guadalquivir por su orilla derecha, pues las corrientes que proceden de las marismas situadas entre las dunas denominadas Las Arenas Gordas y la divisoria meridional del Guadiamar, ni forman ríos, ni son verdaderas corrientes, sino charcos y pequeñas lagunas que van desaguando de unas en otras y vierten en el Guadalquivir por la isla Mayor. Nace el Guadiamar en los últimos estribos de la vertiente oriental de la sierra de Aracena, no lejos de los orígenes del río Tinto, y con rumbo al S. desagua por la isla Mayor, al SE. de Villamanrique.

Por la orilla izquierda llegan al Guadalquivir sus más caudalosos afluentes. Se encuentran, en primer término, las arroyadas y barrancos Cañada de las Fuentes, del Oro, las Angosturas, los Ciervos, Mailar, el valle Aguas Blanquillas, Miguel Barbo, Cazorla y Cañamares, todos ellos de escasa importancia.

El caudal del Guadiana Menor, procede de lo dilatado de su

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cuenca y de lo quebrado de las comarcas y terrenos que recorre. Las sierras del Pozo, del grupo de las del Segura, Sagra, de María, de las Estancias, de Baza, Sierra Nevada, hasta el pico de Mulhacén, las de Hazaña, Alta Coloma y la de Cabra de Santo Cristo determinan un ancho circuito que define las regiones alta y media de la cuenca del Guadiana Menor y comprende parte de la provincia de Jaén y las secciones central y oriental de la de Granada. De las sierras mencionadas en la cuenca que se considera brotan copiosos manantiales, orígenes de numerosos ríos, que, confluyen pronto en un solo brazo, originando el cauce y caudal del Guadiana Menor. Por la región N. bajan de las sierras del Pozo y de Castril los ríos Guadalentín y Castril, de la Sagra el Guardal y más abajo el de Huéscar, recogiendo aguas de las laderas septentrionales de la sierra de María, los cuales, reunidos con otros de menor caudal, constituyen el río Barbata ó de Baza, que se introduce por la profunda hoya del mismo nombre y describe después un arco alrededor del monte El Javaleón, dejando á su izquierda á las poblaciones Baza y Zújar. De Sierra Navada, sierra de Harana y sus estribaciones surgen también diversas fuentes, nacimientos de varios ríos que, dirigiéndose más ó menos hacia el N., confluyen en una sola corriente, conocida bajo el nombre de río de Guadix ó de Fardes. La unión de este río con el Barbata ó de Baza, antes referido, en el N. de Granada, cerca del límite con Jaén, ocasiona la formación del Guadiana Menor, por este nombre conocido desde dicha confluencia. Dirígese al N., y en el mismo límite de las provincias dichas recibe por su orilla izquierda el Guadahortuna, corriendo desde aquí, en la dirección indicada, por la provincia de Jaén por un valle muy angosto á verter en el Guadalquivir, al SE. del pueblo Torreperogil.

Más al Occidente se encuentra el Guadalbullón ó río de Jaén, que, como el anterior, corre de S. á N. Nace en la prolongación occidental de la sierra de Lucena, y al llegar á Jaén recibe por su margen derecha el río La Guardia, que baja del cerro de Almadén recogiendo las aguas de las vertientes meridionales de Sierra Mágina. Desemboca en el Guadalquivir al E. de Mengíbar, más abajo de la confluencia con el Guadalimar. Entre el Guadalbullón y el Guadiana Menor existen dos riachuelos, el Jandulilla y el Olí y algunos arroyos que desaguan directamente en el Guadalquivir.

Hállase después el Salado de Porcuna, que tiene su origen al pie de la peña de Martos, corre al NO., pasa cerca de Porcuna y de Lopera y desagua en el Guadalquivir al NE. de Villa del Río.

A continuación se presenta el Guadajoz, procedente de las

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

caídas al N. de las sierras de Priego y Lucena, en cuya unión nace; marcha al NO. por la provincia de Jaén, recogiendo por la derecha las aguas del Susana y del Víboras, y por la izquierda el Caizena y el Salado de Priego. En un corto trayecto sirve el Guadajoz de límite á las provincias de Jaén y Córdoba, y penetrando en ésta por el saliente de Baena, inclina más su rumbo hacia el O. y pasa por los pueblos de Castro del Río y Palacio de Torres, desaguando en el Guadalquivir por el S. de la capital después de haber recibido por la orilla izquierda, á más de los riachuelos mencionados, el Marbella y el Carchena.

Aguas abajo del Guadalquivir, al O. de Guadajoz, se halla el más importante de los afluentes de aquél: el Genil. Lo dilatado de la cabecera de su cuenca, unido á la quebrada estructura de los terrenos que forman su contorno, es causa de que, á corta distancia de sus orígenes, haya adquirido el Genil toda la importancia que tiene desde Loja á la desembocadura. Recoge en su región más elevada, extendida por la sección occidental de la provincia de Granada, las aguas de las laderas del N. de la sierra de Tejeda y de Almijara y de Sierra Nevada, hasta el pico de Mulhacén; las occidentales de las sierras de Graena, de Harana y otras, y las meridionales de las sierras de Priego, de Parapanda y de Alta Colomba. Entre todas ellas forman una especie de anfiteatro, abierto á Occidente, en el cual recogen numerosos ríos que rápidamente bajan á engrosar el caudal del Genil, que tiene su nacimiento en el Corral de Veleta, al pie del pico del mismo nombre, en Sierra Nevada. Desciende rápidamente hacia Granada con una pendiente grandísima, engrosando su caudal con los derrames de las lagunas que existen en la parte alta de la sierra y y ofreciéndose en esta primera porción de su curso como torrente de extraordinaria velocidad.

El Genil, desde su nacimiento hasta su desagüe, puede decirse que corre en una dirección aproximada de SE. á NO.; en su principio recorre el barranco de Guadamos con fuerte pendiente, pasando por Huéjar-Sierra y Pinos-Genil, y llega á Granada. Ya bastante crecido el Genil por las aguas procedentes de las vertientes de Sierra Tejeda, se encierran en un estrecho desfiladero, pasando junto á Cuevas Altas, Cuevas Bajas y Palenciana y llegando á Benamejí y Puente-Genil. Continúa luego á Écija y sirviendo en algunos trozos de límite á las provincias de Córdoba y Sevilla, así como á las de Córdoba y Málaga, vierte en el Guadalquivir por Palma del Río (Sevilla).

Son afluentes del Genil: el Aguas Blancas, que baja del Mulhacén desde las rocas del puerto del Molinillo llamadas Dientes de la Vieja, pasando por Guéntar, Dúdar y Cenes; el Darro, que

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

desde la sierra de la Harada baja de NE. á SO., pasando por Huétor-Santillán y va á cruzar por medio de Granada á unirse al Genil; el Monachil, que baja de Veleta por las faldas occidentales del peñón de San Francisco y ceno Trebenques y riega Monachil y Huétor-Vega; El Dílar, procedente de los Borreguillos y que pasando por Dílar y Ogíjares va á afluir por la izquierda al Genil; el Marchán ó Alhama, procedente de las vertientes de la sierra de Tejeda y que riega á Alhama; el Anzul, procedentes de Rute y que se une al Cascajar, que baja de Lucena; el río de Yeguas, procedente de la sierra de su nombre y que pasa por la Roda y Casariche, y finalmente el Cabra, que nace en la falda de la sierra á cuyo pie asienta Cabra, pasa por Aguilar de la Frontera y reune el sobrante de la laguna Zoñar.

Marchando á Occidente se encuentra el Carbones, posterior al Genil y de menor curso y caudal que éste. Nace en las faldas septentrionales de la sierra de Yeguas, en la provincia de Málaga, corre por ésta un pequeño trecho y penetra en seguida en la de Sevilla, con la dirección NO. iniciada desde su nacimiento y paralela, por tanto, á la que guarda el Genil, pasando por Puebla de Cazalla y por las llanas y fértiles cercanías de Marchena y de Carmona á desembocar en el Guadalquivir, por el E. del despoblado de Guadajoz, entre Cantillana y Lora del Río. Por la derecha recibe el Carbones las aguas del Salado ó Peinado que, en dirección paralela á aquél en su primera región, corre al pie de Osuna para unírsele por el S. de Fuentes, entre Marchena y Carmona.

Por debajo de la ciudad de Sevilla entra en el Guadalquivir otro río, el Guadaira, siguiente al anteriormente indicado. Nace en la sierra de Algodonales y, corriendo primero por entre los dos brazos que forman la sierra de Morón, pasa por la población de este nombre y sale después á un valle. Toca en Alcalá de Guadaira y, á corta distancia de este pueblo, vierte en el Guadalquivir por frente á Gelves, habiendo seguido en todo su recorrido la dirección general de SE. á NO. Por su margen derecha recibe las aguas del riachuelo llamado Malajuncia, procedente de Paradas y, por la izquierda, las del Guadairella.

Y, por último, llega al Guadalquivir por su ensanche denominado Isla Menor, el Salado de Morón, provinente de las caídas al N. de la Sierra de Algodonales y de escasa importancia, el cual, en su marcha, inclina su rumbo más á Occidente que los anteriores.

Inferiormente á este río se hallan ya las marismas de Lebrija, Trebujena y Sanlúcar, que sólo suministran al Guadalquivir algunas arroyadas de menor cuantía.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Como pertenecientes á la región del Guadalquivir, aunque fuera de su cuenca, se han considerado y consideran los ríos Odiel y Tinto, situados entre la cuenca de aquél y la del Guadiana, en la región central de la provincia de Huelva. Las sierras de Aracena y del Castaño, por el N., la de los Alcarabainos, Sierra Pelada, del Andévalo y de Santo Domingo, por Occidente, y un contrafuerte que arranca de las cumbres de aquéllas, por el E., forman el circuito que cierra las cuencas de ambos ríos, separadas una de otra por las lomas ó bajas sierras de Zalamea la Real y Valverde del Camino.

Nace el río Tinto en las faldas del elevado cerro del San Cristóbal; corre en dirección al S. en la primera mitad de su curso y se inclina en la segunda al SO., dejando á la derecha á Valverde del Camino, pasando por Niebla y Moguer á unirse con el Odiel, por el canal de Palos, cerca de la Rábida, para formar la ría de Huelva. Por la derecha recibe el barranco de Bajo Hornillo, la ribera de Cachán, la del Manzano, de Valverde ó de Rieste, el río Helechoso, el Candón y la ribera Nicova, á más de otras corrientes menos importantes; y por la izquierda, aparte del arroyo Tamajoso, que es de alguna consideración.

El Odiel, situado, á Occidente del Tinto, proviene de las faldas meridionales de la sierra de Aracena y en dirección al SO. corre por el N. de Campofrío; más adelante, por entre Zalamea la Real y Calañas, y desde aquí hasta Gibraleón, punto desde el cual es navegable á favor de las mareas, formando después el canal de Huelva que se une con el ya citado de Palos. Antes se ha subdividido en varios ramales que corren por las marismas ó deltas de estos ríos. Llegan al Odiel por la orilla derecha: varias riberas de importancia, como la Seca, de Escalada, de Olivarga, de Oraque ó de las Cruces y la del Mal Paso, y por la izquierda, la de Zorros y varios arroyos de corto recorrido y caudal escaso.

La naturaleza de los terrenos que componen la región del Guadalquivir es muy varia; preséntanse en ella casi todos los términos de la escala geológica, desde las rocas hipogénicas hasta los aluviones modernos. En la Sierra Morena existen manchones graníticos en las inmediaciones de La Carolina, de Andújar, de la cuenca carbonífera de Espiel y Belmez, en las sierras de Aracena y en otros puntos; formaciones de los pórfidos magnesianos en el N. de las provincias de Córdoba, Sevilla y Huelva; terrenos devonianos contiguos á la citada cuenca carbonífera, y unas y otras de estas manchas repartidas en las grandes extensiones que ocupan los terrenos cambriano y siluriano, base del sistema Bético. El triásico forma las sierras de Alcaraz, donde se halla el nacimiento del Guadarmena; la loma de Chiclana, por cuyo pie

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

corre el Guadalimar, continuación de aquél; parte de la cuenca del Guadiana Menor, y se extiende también por el S. de la provincia de Sevilla, en los partidos judiciales de Morón y Osuna. Jurásicas son las calizas donde tiene su nacimiento el Guadalquivir y parte de las sierras de Cazorla y Segura, el S. de la provincia de Jaén en sus límites con Granada y Córdoba, y grandes trozos de los partidos judiciales de Cabra, Lucena y Priego; menos desarrollo tiene el cretáceo, que sólo presenta pequeñas manchas entre Huéscar y La Sagra, en Mancha Real (Jaén) y en el SE. de Sevilla, en su límite con Málaga. El terciario se muestra en dos divisiones: eocena y miocena, particularmente en esta última, constituyendo la mayor parte del territorio que por la izquierda del Guadalquivir abraza su cuenca; la loma de Úbeda, las llanuras y bajas colinas de Andújar, Porcuna, Bujalance, Córdoba, Espejo, La Rambla, parte de Montilla, Aguilar, Puente-Genil, Écija, Carmona, Marchena, Utrera, Lebrija y otros muchos pueblos se asientan sobre la formación miocena, la cual corre hacia el S. hasta Jerez de la Frontera, encontrándose terrenos eocenos en el SE. de Córdoba, por Rute, Lucena, Aguilar, Montilla y Baena; en el centro de Jaén, por Martos, Jaén, Mancha Real y Jodar, y en N. de Granada. Existen, además, pequeñas afloraciones de la misma clase salpicadas por el S. de Sevilla y Jaén. El tercer período de la época terciaria, á que corresponde la formación pliocena, presenta tres manchones de no gran extensión en la región que se considera: uno en la provincia de Sevilla al N. de Utrera, por Dos Hermanas, Alcalá, Mairena, Viso del Alcor y O. de Carmona; otro en el S. de la misma y parte de la de Cádiz, por Lebrija, Trebujena y Sanlúcar de Barrameda, y el tercero al O. de Sevilla, corriéndose por Huelva, constituyendo parte de las cuencas del Guadiana y Tinto, y, por último, las formaciones pospliocenas se manifiestan á lo largo del curso del Guadalquivir desde Montoro hasta su desembocadura en las marismas de Huelva y en parte de las cabeceras de las cuencas del Genil y del Guadiana Menor.

Vertiente meridional.

Más estrecha aún que la vertiente septentrional es la meridional, siendo la menos importante de todas en el concepto hidrológico. Los ríos de esta vertiente están caracterizados por su corto curso y escaso caudal, todo lo que hace que sean poco importantes.

La estrecha faja que forma la vertiente tiene por límites: por el N., la sierra de los Filabres, Sierra Nevada, de Almijara, de Antequera y Archidona, altas mesas y sierras de Campillos y

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Montellano, sierra de Gibalbín, y por el S. el Mediterráneo y trozo del Atlántico de Tarifa á Cádiz. Hallándose dentro de ella parte de las provincias de Almería, Granada y Málaga, y casi toda la de Cádiz.

Procediendo en la reseña de esta vertiente en el mismo orden que para la septentrional, es decir, el de E. á O., hállase principalmente la cuenca del río Almería. Son sus límites la sierra de los Filabres y de Baza por el N., las de Alhamilla y cabo de Gata por el E., y por el O. la sierra de Gádor y la extremidad oriental de la Sierra Nevada. Nace el río Almería en los confines de Granada, en las faldas septentrionales del Chullo, al poniente de Fiñana. En un principio, y con la dirección NO. á SE. corre sus aguas por entre las sierras de Baza y Nevada, pasando, entre otros pueblos, por Fiñana, Ocaña, Doña María y Nacimiento. Cambiando su dirección al S. recibe el agua de varias ramblas que afluyen por sus dos orillas, y vuelve otra vez su dirección al SE., entrando luego en Santa Fe, por entre la sierra de Enin y estribos de la de Alhamilla, dando sus aguas cerca de Almería. Recibe en su curso las de numerosas ramblas, de entre las cuales son las más importantes las siguientes: la que baja de Laujar y Canjáyar, la de Gérgal, que entra en Almería después de pasar por Gérgal y recoger las aguas de las vertientes meridionales de los Filabres; el río Andarax, que tiene su origen en la vertiente S. de la sierra del Almirez, las ramblas de Abrucena, Santillana y la Catalana, que corresponden á las faldas meridionales de Sierra Nevada, y, finalmente, la Rambla Grande, la del Fondón, el barranco de los Plomeros, de Cartagena, de Pajaricos y otros, todos los cuales bajan de la sierra de Gádor.

Limitan la cuenca del río Adra: Las Alpujarras, por el N.; la sierra de Gádor, por el E., y la de Calar, continuación de la de Contraviesa, por el O. Su extensión es menor que la anterior, si bien el río es más importante por su caudal. Al pie del cerro del Chullo, más arriba de Paterna y á corta distancia del puerto de La Ragua, tiene su nacimiento el Adra. En la parte superior de su cuenca, constituída por terrenos de transición, corre por estrechos canales, pasando así por Cherni, donde empieza á marcar el límite de las provincias de Granada y Almería. Sigue luego á Alcolea y Darrícal, y más tarde, aumentando su caudal con el agua de varias ramblas y pasando próximo á Berja, rompe la unión de las sierras de Contraviesa y de Gádor, yendo á desembocar en el mar al E. de Adra. Este río recibe por su derecha el Ugíjar, que reune buen número de vertientes de Sierra Nevada, y pasa por Válor, Játor y Ugíjar, y por su izquierda, las ramblas procedentes del Puntal de la Higuera, de la sierra de Gádor.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los terrenos de transición corresponden á la parte superior de su cuenca, mientras que en su parte media, cuya pendiente es más suave que la superior, y en la inferior, corresponde el terreno en el orden geológico á formaciones metamórficas y primarias.

Sigue al Adra el Guadalfeo, cuya cuenca comprende toda la porción más meridional de Granada, definida por Sierra Nevada al N., las sierras de las Guarras al O. y las de Lújar y Contraviesa al E. Se forma por la reunión de tres arroyos que descienden de N. á S. de los picos de Veleta, Mulhacén y el Panderón, con los nombres de rambla de Lanjarón, de Boqueira y de Trevélez. Estos arroyos van á unirse cerca de Órgiva. Después de este curso torrentoso y con un caudal bastante considerable da sus aguas al Mediterráneo entre Salobreña y la vega de Motril. Los afluentes más importantes que llegan á este río provienen de las faldas meridionales de Sierra Nevada, comprendidas entre el cerro del Lobo y el del Padul. En su recorrido pasa por terrenos estrato-cristalinos en la mitad superior de su región y por pizarras y calizas silurianas en la parte inferior.

A continuación encuéntrase la región hidrológica del Guadalhorce, la cual comprende la parte central de Málaga, y tiene por límites: al N., la divisoria general, desde el final de la sierra de Tejeda hasta la de las Ventas; al E., las sierras de Tejeda y Almijara, y al O., por la sierra de Tolox y estribaciones de la sierra de Yeguas. Dentro de estos límites existen varios arroyos que dan sus aguas directamente al mar é independientes, por lo tanto, del Guadalhorce. Entre éstos se hallan el río de Vélez y el Guadalmedina. El río de Vélez nace en el puerto de los Alazores. Su primera dirección es al S., que deja en Alfarnate y cambia al Sudeste, pasando por un terreno sumamente escabroso, entrando después en un valle, donde se halla Vélez-Málaga, afluyendo á poco al mar. El Guadalmedina nace en la Sierra Prieta, en la cordillera que separa Antequera del mar; corre también por un terreno sumamente áspero y desemboca en Málaga.

El Guadalhorce tiene su origen en el puerto de los Alazores, término de Loja, y en la parte opuesta al río de Vélez. Su dirección general es al O.; pasando por Villanueva del Trabuco y por la peña de los Enamorados, prosigue á Antequera. Cambia luego de rumbo al SO., y por el Tajo de los Gaitanes corta á la cordillera; vuelve á cambiar al SE. hasta Alora, donde lo hace de nuevo al S., pasando por un angosto valle formado por las sierras de Capa'án y de la Pizarra. Va después, en unión de dos afluentes suyos, á la hoya de Málaga, desembocando en el Mediterráneo cerca de Churriana. Son afluentes del Guadalhorce el río Grande, que baja de la sierra de Tolón, el cual se halla formado

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de varios arroyos, como son el del Judío, que baja de Alhaurín el Grande, y el que pasa por cerca de Alhaurín de la Torre, los cuales son los que, con el río principal, fertilizan la hoya de Málaga, y el río Campanillas, que proviene de Torcal de Antequera. En la región superior de la cuenca, cerca de los orígenes del río, prevalecen las formaciones secundarias, y en el resto las terciarias, sin otras llanuras que las de Antequera y la hoya de Málaga.

Encuéntrase después la cuenca del Guadiaro, río que reune las aguas que se vierten sobre las sierras y mesetas conocidas bajo el nombre genérico de Serranía de Ronda. Nace en la sierra de Tolox ó de la Nieve, donde se halla el pisampar de Ronda; marcha hacia el O. y pasa por el N. de la ciudad de Ronda. El Guadalevín es afluente de aquél. Pasado el Tajo entra el río en una extensa hoya. Más adelante se une al Guadiaro, el cual, á su vez, ha ido recibiendo en su trayecto aguas de varios arroyos, siendo notable el de Montejaque, que baja de las laderas orientales de Grazalema y se oculta en un largo trecho para reaparecer después por la renombrada cueva del Gato. Por la orilla izquierda vierte en el Guadiaro el Genal, de estrecha cuenca, limitada por Sierra Bermeja, y por la derecha, el Hozgarganta, cerca ya del desagüe de aquél en el Mediterráneo, que verifica entre Estepona y San Roque.

El último río en importancia de la vertiente meridional es el Guadalete, que, á diferencia de los anteriores de la misma sección, desemboca en el Atlántico, en tanto que aquéllos lo hacen en el Mediterráneo. Separan la cuenca del Guadalete de la del Guadalquivir los cerros de Sanlúcar de Barrameda, sierras de Gibalbín, de Montellano y de Morán, y de la del Guadiaro, las sierras de Medina Sidonia y de Ubrique. Hállase el Guadalete formado por dos ríos de bastante consideración, los cuales, teniendo el mismo nacimiento, las faldas del cerro de San Cristóbal, corren separados bastante espacio con marchas distintas, uniéndose más tarde y recibiendo el nombre con que después es conocido hasta su desembocadura. El primero y más principal de estos brazos, conocido también con el nombre de Guadalete, nace cerca de Grazalema y al pie del cerro de San Cristóbal. Corriendo en su principio de S. á N. y recibiendo varios arroyos vuelve á cambiar al NO., pasando por Zahara. Desde dicho pueblo recibe el río el nombre de Zahara, sustituyendo al de Grazalema que llevara hasta el punto expresado, y su caudal es aumentado con el de varios arroyos y con el del río Olbera, procedente éste de los montes de Setenil y Alcalá del Valle, así como el del Zaframagón, que se le une al pie de la sierra de Lija, en el tajo de su nombre. El terreno anterior es sumamente escabroso y elevado,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y el río rompe los montes que forman tal valle por la angostura de Bornos. Más abajo circunda el río á la ciudad de Arcos de la Frontera, situada en la falda de una gran roca. En La Pedrosa recibe este río por su izquierda las aguas del segundo de los brazos que forman el Guadalete. Éste, conocido con el nombre de Majaceite, viene de Benamahoma, de la falda de San Cristóbal; recibe las aguas de los ríos Ubrique y Bosque, y circula en un principio por un terreno tan accidentado como el de Zahara, y como éste salva los elevados montes por otra garganta situada entre los cerros del Atalaya, del Granado y luego, más tarde, por la de Fox y la estrechura de Arcos, recibiendo entre estas dos angosturas varios arroyos que de aquellos precipicios se despeñan, encontrándose entre ellos el del Tempul.

Unidos ya los dos brazos que forman el Guadalete, pasa éste al pie de la Cartuja de Jerez, desde donde ya se empiezan á hacer sensibles los efectos de las mareas, si bien no se hace navegable hasta el sitio denominado El Portal, pequeña ensenada formada por sus aguas y distante unos 10 kilómetros de las marismas de la desembocadura del Guadalete en el Puerto de Santa María. El cauce del Guadalete se halla sobre terrenos terciarios, excepto alguna parte de él, próxima á los orígenes del río, que lo está sobre jurásicos, y otro pequeño trozo en la desembocadura sobre fangos y arenas.

Entre los varios arroyos que dan sus aguas á la bahía de Cádiz por entre las poblaciones que la circuyen encuéntrase como más considerable el Lirio ó Salado de Medina, que, naciendo en las faldas de la elevada meseta en la que tiene su asiento Medina-Sidonia, corre al NO. hasta Chiclana, que el río divide en dos partes, desembocando éste poco después en el canal de Santi-Petri.

El Barbate, antes mencionado, nace en el Aljibe, y por un terreno escabroso llega á Alcalá de los Gazules. Continuando por terreno quebrado y pintoresco va más tarde á entrar en los pantanos que se hallan entre la sierra de Andilla, que se encuentra en la orilla derecha, y la Pedregosa, en la izquierda, y que forman parte de la llamada Laguna de Janda. Sigue luego el Barbate su curso á Vejer de la Frontera, situada en un recodo del río y en una colina, y ya navegable por algunos barquichuelos que llegan á Vejer á favor de las mareas, desemboca en el mar á ocho kilómetros de aquella población.

Finalmente, de las colinas que separan del mar la laguna de la Janda bajan al mismo varios riachuelos, siendo el Mastral y el Salado los más importantes. El primero desciende del puerto de Jacina y va á afluir próximo al cabo de la Plata, y el segundo cruza al pie de la peña del Ciervo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Regiones hidrográficas.	Ríos principales.	RIOS AFLUENTES: Por la margen derecha.	RIOS AFLUENTES: Por la margen izquierda.	Longitud de los ríos. — Km.	Volumen de agua por 1". — M.³	Superficie de la cuenca. — Km.²
1.ª *Vertiente de los Pirineos orientales*	Fluviá	»	»	99,252	»	18.300
	Ter	»	»	207,074	»	
	Tordera	»	»	53,612	»	
	Besós	»	»	80,489	»	
	Llobregat	Cardoner	»	87,150	»	
		»	»	160,085	»	
	Francolí	»	»	54,108	»	
2.ª *Cuenca del Ebro*	Ebro	Rudrón	»	44,908	2,885	83.500
		Oca	»	79,798	»	
		»	Bayas	61,757	»	
		»	Zadorra	95,294	3,704	
		Tirón	»	64,954	1,216	
		Najerilla	»	99,739	6,226	
		Iregua	»	62,477	»	
		Leza	»	44,790	»	
		»	Ega	123,741	»	
		Cidacos	»	83,898	»	
		»	Aragón	191,813	8,401	
		»	»	927,905	45,088	
		Alhama	»	84,416	0,454	
		Queiles	»	44,828	»	
		Huecha	»	45,886	»	
		»	Arba	124,517	»	

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Regiones hidrográficas.	Ríos principales.	RIOS AFLUENTES		Longitud de los ríos. — *Km.*	Volumen de agua por 1". — $M.^3$	Superficie de la cuenca. — $Km.^2$
		Por la margen derecha.	Por la margen izquierda.			
2.ª Sigue *Cuenca del Ebro*.....	Ebro.....	Jalón.....	»	234 618	3,408	86.000
		Huerva.....	»	143,398	0,056	
		»	Gállego.....	215,268	10,939	
		Martín.....	»	116,404	»	
		Guadalope.....	»	194,128	1,557	
		»	Segre.....	257.409	14,088	
		Matarraña.....	»	97,404	0,741	
3.ª *Vertiente oriental*...	Mijares.....	»	Ciurana.....	53,741	»	65.400
	Palancia.....	»	»	104,500	4,864	
	Turia ó Guadalaviar.....	»	»	90,000	1,182	
		»	»	221,760	10,000	
	Júcar.....	»	Moscas.....	68,000	»	
		»	Cabriel.....	187,100	7,680	
		»	»	385,300	45,310	
		Albaida.....	»	66,000	8,560	
	Serpis ó Alcoy..	»	»	78,500	»	
	Algar.....	»	»	75,000	»	
	Montnegre.....	»	»	51,500	»	
	Vinalopó.....	»	»	127,100	»	
	Segura.....	»	Mundo.....	123,500	4,536	
		Quipar.....	»	89,300	0,832	
		»	»	251,803	17,786	
	Albujón.....	»	»	60,500	»	
4.ª *Vertiente meridional*.....	Almanzora.....	»	»	81,200	0,052	
	Almería.....	Andarax.....	»	44,000	0,063	
		»	»	82,500	0,063	
	Adra.....	»	»	78,150	1,563	
	Grande.....	»	»	85,200	4,094	

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

		Vélez	»	»	52,300	4,294	15.000
		Guadalhorce	»	»	96,250	19,150	
		Guadiaro	»	»	103,175	1,069	
		Barbate	»	»	55,000	»	
		Guadalete	Majaceite	»	171,450	0,780	
		Odiel	»	»	71,500	0,510	
			»	»	149,850	»	
			»	Guadiana menor.	182,475	»	
			»	Jandulilla	61,483	»	
			Guadalimar	»	195,020	»	
			»	Guadalbullón	85,050	»	
			Guadiel	»	66,318	»	
			Rumblar	»	96,675	»	
			Jándula	»	157,810	»	
			»	Salado de Arjona	72,000	»	
			Yeguas	»	84,968	»	
			»	Salado de Porc.ª	92,250	»	
			Arenoso	»	44,972	»	
			Cuzna ó Guadalmellato	»	110,415	»	
			»	Guadajoz	202,960	»	
			Guadiato	»	145,390	»	
5.ª	*Cuenca del Guadalquivir*	Guadalquivir	»	Arr.º de la Marola	41,842	»	64.500
			»	Arroyo de Guadalmazán	47,370	»	
			Bembézar	»	125,382	»	
			Retortillo	»	63,576	»	
			»	Genil	358,157	»	
			»	Arr.º de la Mahilla ó Arr.º Madre de Fuentes	44,700	»	
			Guadalvacar	»	57,167	»	
			»	Corbones	180,633	»	
			Riv.ª de Huezna	»	81,852	»	
			Idem del Viar	»	131,989	»	
			Idem de Huelva	»	131,976	»	
			»	Guadaira	92,328	»	
			Guadiamar	»	100,328	»	

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Regiones hidrográficas.	Ríos principales.	RIOS AFLUENTES		Longitud de los ríos. — *Km.*	Volumen de agua por 1". — $M.^3$	Superficie de la cuenca. — $Km.^2$
		Por la margen derecha.	Por la margen izquierda.			
	Guadiana alto..	»	»	75,914	»	
		»	Azuer.....	89,893	0,447	
		Záncara	»	220,765	3,023	
		»	Jabalón.....	170,556	0,015	
		Bullaque.....	»	101,980	0,448	
		Estena.....	»	90,916	0,226	
		Guadalupejo.....	»	50,218	»	
		»	Zújar	220,618	0,553	
		»	Ruecas.....	99,461	0,449	
		Búrdalo.....	»	62,802	»	
		»	»	594,053	7,471	
6.ª *Cuenca del Guadiana.*	Guadiana.....	»	Matachel.....	126,580	0,067	72.100
		Aljucén.....	»	48,236	»	
		Lácara	»	51,992	»	
		»	Guadajira	82,523	»	
		»	Antrín.....	49,179	»	
		»	Albuera	69,140	»	
		Alcazaba	»	54,448	»	
		Gévora	»	51,192	»	
		»	Valverde	61,541	»	
		»	Táliga	42,835	»	
		»	Alcarrache	70,443	»	
		»	Ardila	104,420	»	
		»	Chanza	121,413	»	

FUNDACION JUANELO TURRIANO

		»	Guadiela	128,835	»		
		Jarama	»	145,000	4,220		
		Guadarrama	»	120,560	»		
		»	»	862,728	25,890		
7.ª *Cuenca del Tajo*	Tajo	Alberche	»	153,000	»	81.400	
		Tietar	»	178,264	»		
		»	Almonte	119,722	»		
		Alagón	»	208,614	»		
		Eljas	»	88,856	»		
		»	Salor	125,727	»		
		»	Tera	152,534	1,236		
		»	Rituerto	46,841	»		
		Ucero	»	50,187	0,538		
		»	Pedro	42,134	»		
		Pilde	»	53,488	»		
		»	Riaza	113,294	2,496		
		»	Duratón	115,937	»		
		»	Eresma	166,609	2,045		
		Pisuerga	»	288,618	7,872		
8.ª *Cuenca del Duero*	Duero	»	»	679,497	86,044	79.000	
		»	Adaja	190,307	2,106		
		»	Zapardiel	108,968	1,291		
		»	Trabancos	93,500	1,049		
		»	Guareña	89,848	1,249		
		Valderaduey	»	151,200	5,902		
		Esla	»	285,067	5,666		
		»	Tormes	283,884	7,418		
		»	Yeltes	109,663	0,501		
		»	Agueda	130,805	5,879		
		»	Sil	176,200	18,307		
	Miño	»	»	221,700	32,264		
		Tea	»	49,500	2,491		
9.ª *Vertiente occidental*	Lerez	»	»	49,000	2,776	31.300	
	Umia	»	»	44,200	3,270		
	Ulla	»	»	88,000	124,607		
	Tambre	»	»	89,300	»		
	Mandeo	»	»	49,500	»		

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Regiones hidrográficas.	Ríos principales	RIOS AFLUENTES		Longitud de los ríos. — *Km.*	Volumen de agua por 1". — $M.^3$	Superficie de la cuenca. — $Km.^2$
		Por la margen derecha.	Por la margen izquierda.			
10 *Vertiente septentrional*	Eo	»	»	66,500	10,874	29.200
	Navia	»	»	108,200	»	
	Nalón	»	»	121,400	»	
		»	Narcea	101,200	»	
	Sella	»	»	58,000	»	
	Deva	»	»	55,000	»	
	Besaya	»	»	60,200	»	
	Asón	»	»	42,500	»	
	Nervión	»	»	68,600	3,884	
	Orio	»	»	68,700	»	
	Bidasoa	»	»	44,000	»	

NOTA.—En este cuadro sólo se incluyen los ríos cuyo cauce tiene una longitud mayor de 40 kilómetros. Todos los datos que figuran son los que oficialmente se conocen, pues aun no se han publicado la mayor parte de los trabajos de las Divisiones hidrológicas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

INDICE

Página.

Parte primera.

§ 1.—Tablas, fórmulas y datos de uso frecuente.

1	Aceleración debida á la gravedad	1
2	Péndulo	1
3	Valores usuales en los cálculos	1
5	Logaritmos	5
7	Principales fórmulas trigonométricas	8
9	Líneas trigonométricas en función de *e* y de *i*	18
10	Raíces cúbicas y de grado superior	18
11	Integración por partes	19
12	Integrales fundamentales	19
13	Integrales definidas	21
14	Centros de gravedad	22
15	Centro de gravedad de un sistema de puntos en los que hay aplicadas cantidades referidas á una unidad cualquiera	24
16	Centro de gravedad de una figura cualquiera	24
17	Integración y derivación gráfica	25

Parte segunda.

§ 1.—Notas preliminares.

18	Constitución y propiedades del agua	27
19	Yacimientos y extracción del agua	28
20	Nubes	28
21	Eudiómetros y pluviómetros	29
22	Datos meteorológicos	30
23	Repartición del agua de lluvia	31
24	Utilización del agua de las nubes	33
25	Heleras	33

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

26 Ríos y torrentes 33
27 Lagos 34
28 Mares 35
29 Corrientes subterráneas y manantiales 35
30 Grandes capas acuíferas subterráneas 38

§ 2.—**Nociones y fórmulas principales de Hidrostática.**

31 Presión interna 39
32 Condiciones de equilibrio de un líquido 39
33 Superficie de nivel 40
34 Presión unitaria 40
35 Diagrama de las presiones 40
36 Centros de presión 41

§ 3.—**Nociones y fórmulas principales de hidrodinámica.**

37 Ecuaciones indefinidas del movimiento de los flúidos perfectos 43
38 Ecuación de continuidad de masa 44
39 Ecuación del movimiento lineal 44
40 Definiciones 44
41 Teorema de Bernoulli 45
42 Extensión del teorema de Bernoulli al caso de las corrientes 46
43 Casos particulares de pérdidas por cambios de sección 47
44 Idem, íd., íd. por cambio de dirección 48

§ 4.—**Nociones y tablas relativas á la Foronomía.**

45 Fenómenos que acompañan la salida por orificios 49
46 Clasificación de los orificios 51
47 Orificios con nivel constante 51
48 Idem en pared delgada sobre el fondo 52
49 Idem íd., íd., íd., con paredes inclinadas 52
50 Idem laterales con carga libre en pared delgada y contracción completa 52
51 Idem, íd., íd., íd. contracción incompleta 57
52 Idem como en el núm. 50, sumergido 57
54 Idem con carga en pared gruesa 60
55 Idem en vertedero libre 62
56 Idem, íd., íd., con contracción incompleta 63
57 Presas 64

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

58 Formas especiales de los vertederos libres..... 65
59 Vertederos sumergidos..... 66
60 Idem, íd., contracción incompleta..... 66
61 Idem de diversas formas en pared delgada..... 66
62 Presas sumergidas..... 68
63 Idem oblicuas..... 68
64 Idem con umbral inclinado..... 68
65 Vertederos de coeficiente constante de salida..... 68
66 Idem en pared gruesa..... 69
67 Tubos adicionales..... 69
68 Salida con nivel variable..... 71
69 Casos particulares de ídem, íd., íd., íd..... 72
70 Salida de un recipiente herméticamente cerrado..... 72
71 Idem desde un recipiente animado de un movimiento giratorio..... 73
72 Nueva teoría sobre los coeficientes de contracción... 73

§ 5.—**Fórmulas y tablas relativas al movimiento uniforme.**

73 Fórmula fundamental del movimiento uniforme..... 75

A).—*Fórmulas antiguas que no tenían en cuenta la aspereza de las paredes.*

74 Fórmula con coeficiente establecido..... 76
75 Idem de Prony y Eytelwein..... 76
76 Idem de Barré de St. Vennant..... 77
77 Idem de Dupuit..... 77
78 Idem de Hagen..... 77
79 Idem de Humphreis Abbot..... 77
80 Idem abreviada de ídem..... 78
81 Idem de Gauchler..... 79
82 Idem de Girard..... 79
83 Idem de Borneman..... 79
84 Idem de Tadini..... 79
85 Idem de Turazza..... 80
86 Fórmulas especiales..... 80

B).—*Fórmulas modernas que tienen en cuenta la aspereza de las paredes.*

87 Fórmula de Darcy y Bazin..... 80
88 Idem de Ganguillet y Kutter..... 86

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

89 Idem abreviada de ídem 86
90 Idem nueva de Bazin 89
91 Idem de Manning 90

§ 6.—**Nociones generales y cálculo de los canales.**

92 Clasificación 91
93 Trazado 91
94 Evaporación y filtración 91
95 Pendiente 91
96 Velocidad 91
97 Sección 93
98 Secciones de máxima economía 93
99 Máxima economía en las secciones trapeciales 94
100 Idem, íd. en los tubos circulares 124
101 Idem, íd. en los ídem ovoidales 127
102 Cálculo del gasto en las secciones de pervil ovoidal. 127

§ 7.—**Nociones sobre la teoría del agua á presión.**

103 Definiciones 130
104 Ecuación fundamental para el movimiento uniforme del agua á presión 131

A).—*Fórmulas antiguas en que no se tenía en cuenta la aspereza de las paredes.*

105 Fórmula de Prony 132

B).—*Fórmulas que tienen en cuenta la aspereza de las paredes.*

106 Experimentos clásicos de Darcy 134
107 Fórmula de Mauricio Levy 136
108 Idem monomía de Henry Vallot 137
109 Idem de Flamant 137
110 Idem de M. Robert Manning 139
111 Presión y espesor de los tubos 139
112 Golpe de ariete y teoría del movimiento perturbado del agua en los tubos á presión 139
I.—Fórmulas del movimiento perturbado 140
II.—Golpe de ariete sencillo 141
III.—Contragolpe de ariete 141
IV.—Cámaras de aire 141
113 Diversas posiciones de la línea de carga 142

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

114 Surtidores 144
115 Sistemas de tubos 144
116 Tubos de diámetro variable 145
117 Idem con servicio uniforme en el recorrido 145
118 Idem de servicio mixto 145
119 Cálculo de los depósitos de compensación 146
120 Máxima economía en las cañerías 148
121 Resolución general de una red según los conceptos de máxima economía 149

§ 8.—**Nociones y principales fórmulas del movimiento permanente.**

122 Casos prácticos en que puede tener lugar el movimiento permanente 150
123 Ecuación diferencial del movimiento permanente 150

A).—*Cursos de cauce regular y constante.*

124 Ecuación diferencial general del movimiento permanente en el caso *A)* 151
125 Cursos de sección rectangular muy ancha 151
126 Formas diversas de las curvas de remanso 151
127 Integración de la ecuación del movimiento permanente 155
128 Fórmulas de integración aproximada de Dupuit 160
129 Fórmulas empíricas 161

B).—*Cauces de sección gradualmente variables.*

130 Fórmulas de integración aproximada propuestas por Dupuit 162
131 Remansos especiales en la práctica 165

§ 9.—**Nociones sobre la teoría de las aguas filtrantes.**

132 Características del movimiento de las aguas subterráneas 167
133 Determinación de los coeficientes λ y k 167

A).—*Movimiento uniforme en las aguas filtrantes.*

134 Filtros de filetes verticales 169
135 Filtros de filetes horizontales 169

B).—*Movimiento permanente en las aguas filtrantes.*

136 Definiciones 170

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

		Página.
137	Filtros de filetes paralelos	170
138	Idem circulares	171
139	Idem, íd. á presión	173
140	Idem elípticos	174
	B).—*Movimiento variado en las aguas filtrantes.*	
141	Casos en que se verifica el movimiento variado	175
142	Galerías intermitentes de gran longitud	175
143	Filtros circulares con movimiento variado	176
144	Idem elípticos con idem, íd	176
145	Determinación en el campo de los coeficientes k y λ.	
	D).—*Movimiento de las aguas filtrantes sobre un fondo impermeable inclinado.*	
146	Movimiento permanente en pendiente	179
147	Idem variado en pendiente	181
148	Estudios recientes sobre las aguas filtrantes	183
	§ 10.—**Instrumentos de medición.**	
	A).—*Hidrómetros.*	
149	Hidrómetros	183
	B).—*Taquímetros ó reómetros.*	
	I categoría.	
150	Flotador sencillo	184
151	Corredera sencilla	185
	II categoría.	
152	Flotador compuesto	185
153	Tubo de Pitot.—Modificación de Darcy	186
	Tubo de Frank	186
154	Molinete de Woltmann	187
155	Idem de Razzaboni	188
	III categoría.	
156	Varilla reométrica	188
157	Molinete integrador	188
158	Instrumentos integradores á lo largo de una línea	189
159	Colocación de los molinetes	190
160	Escala de velocidades	190

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

C).—*Instrumentos de medida para los tubos á presión.*

161 Tubo de Pitat, modificado por Darcy..... 194
162 Escalas de velocidades radiales en los tubos á presión..... 194
163 Contadores de agua..... 194
164 Determinación del gasto en las curvas de agua..... 195
164 bis Mareógrafo Mier..... 197
165 Perfil de la sección..... 198

Parte tercera.

§ 1.—**Acueductos.**

166 Caudal necesario para el consumo..... 201
167 Variación del consumo con el tiempo.—Consumo diario..... 204
168 Toma de muestras..... 205
169 Análisis químico del agua..... 206
170 Idem bacteriológico..... 209
171 Corrección de las aguas potables..... 210
172 Temperatura..... 211
173 Filtración..... 216
174 Esterilización..... 220
175 Instalaciones para elevación..... 223

A).—*Aguas superficiales.*

176 Cisternas..... 221
177 Lagos artificiales ó depósitos..... 222
178 Derivaciones de los ríos y lagos..... 223

B).—*Aguas subterráneas.*

179 Manantiales y su descubrimiento..... 223
180 Obras de toma de los manantiales y conducción de las aguas..... 224
181 Zona de protección..... 225
182 Aguas freáticas..... 225
183 Pozos ordinarios..... 226
184 Pozos tubulares ó Northon..... 226
185 Aguas artesianas..... 228
186 Toma de aguas artesianas..... 228
187 Pozos de toma y de carga..... 229

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

188 Galerías filtrantes 229
189 Cálculo de los pozos y galerías filtrantes 231

C).—*Conducción del agua desde la toma al lugar de empleo.*

190 Trazado 222
191 Cálculo de la conducción exterior 232
192 Conducción á nivel libre ó medio caño 233
193 Conducciones forzadas 233
194 Tubos de cemento 233
195 Idem de cemento armado 234
196 Idem de fundición 235
197 Idem de acero Manesmann 242
198 Sistemas de juntas 242
199 Piezas especiales 243
200 Prueba de las cañerías 245

D).—*Aparatos y obras de arte en las conducciones exteriores.*

201 Aparatos 247
202 Válvulas de retención 247
203 Cajas ó depósitos de limpia 247
204 Reguladores de presión 248
205 Cajas de prueba 249
206 Manómetros 249
207 Válvulas de detención 250
208 Desaguadores 250
209 Ventosas 251
210 Columnas piezométricas 251
211 Depósitos de reunión y de interrupción 251
212 Partidores 252
213 Cruces con otras vías 252
214 Depósitos 258
215 Idem de reserva y compensación 259
216 Idem de fábrica 260
217 Idem de cemento armado 262
218 Idem de palastro 264
219 Accesorios de los depósitos 265
220 Tuberías y mecanismos 266
221 Escalas de alturas y gastos 267
222 Cámaras ó depósitos de llegada 267

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

Distribución urbana.

223 Problema general de la economía máxima..... 268
224 Trazado más conveniente..... 269
225 Estudio de una red..... 271
226 Cálculo de los diámetros..... 273
227 Distribución urbana..... 278
228 Tomas de agua..... 278
229 Tuberías de hierro..... 279
230 Idem de plomo..... 279
231 Sistemas de distribución privada..... 280
232 Depósitos domésticos..... 281
233 Contadores..... 282
234 Distribución pública..... 284
235 Abastecimiento de los edificios públicos..... 287
236 Distribución en los edificios privados..... 289
237 Marcha y conservación de las cañerías..... 290
238 Refrigerantes..... 291

§ 2.—**Alcantarillado.**

239 Diversos sistemas de alcantarillado..... 294
240 Clasificación de las materias que se evacúan, cantidad y volumen..... 294
241 Sistema circulante..... 295

A).—*Sistema circulante mixto.*

242 Gasto y cantidad de materias líquidas que hay que evacuar..... 295
243 Trazado..... 296
244 Sección de las alcantarillas en el sistema mixto..... 296
245 Cálculo..... 298

B).—*Sistema circulante de líquidos separados.*

246 Evacuación de las aguas negras..... 298
247 Trazado..... 299
248 Materiales y forma de la canalización de aguas negras..... 301
249 Cálculo de la red de aguas negras..... 302
250 Evacuación de las aguas limpias..... 303
251 Emplazamiento de las alcantarillas..... 303
252 Cierres herméticos..... 303
253 Pozos de registro y limpieza..... 305
254 Ejecución de los trabajos..... 305

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

255 Ventilación de las alcantarillas..... 306
256 Limpieza mecánica de las alcantarillas..... 307

C).—*Sistemas de lavados parciales.*

257 Partidores..... 308
258 Limpias periódicas..... 309
259 Limpieza continua en los colectores y depósitos automáticos en el origen de las alcantarillas terciarias. 309

D).—*Destino de las aguas del alcantarillado.*

260 Desagüe en los ríos y canales..... 311
261 Idem insuficiente en parte..... 312
262 Idem en el mar..... 312
263 Depuración de las aguas del alcantarillado..... 312

E).—*Otros sistemas de alcantarillado.*

264 Sistema pneumático..... 313
265 Alcantarillas divisorias 314
266 Idem de dilución..... 314
267 Idem de desinfección 315

§ 3.—**Riegos.**

268 Objeto de los riegos 315
269 Calidad de las aguas para riego..... 316
270 Cantidad de agua necesaria para los riegos..... 316
271 Origen de las aguas para riego..... 317

A).—*Derivación de manantiales naturales ó artificiales, ó de capas acuíferas subterráneas.*

272 Obras de toma..... 318
273 Fontanillas..... 318

B).—*Derivación de las aguas exteriores corrientes ó estancadas.*

274 Derivación directa..... 319
275 Derivaciones mediante presas..... 321
276 Presas incompletas..... 321
277 Dirección y forma de las presas..... 322
278 Presas mixtas..... 323

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

279 Puertas marineras..... 324
280 Presas Poirèe..... 324
281 Puertas giratorias Chanoine..... 324
282 Idem, íd. Desfontaine..... 324
283 Cálculo de una compuerta ó alza de nivel constante. 325
284 Idem, íd., íd., íd. de gasto constante..... 328
285 Bocales de toma..... 329
286 Construcciones de toma de aguas..... 330

C).—*Derivación de depósitos ó embalses artificiales.*

287 Localidad del depósito..... 331
288 Estudio de la corriente que se va á embalsar..... 332
289 Capacidad del depósito ó embalse..... 332
290 Conveniencia de uno ó más pantanos..... 333

Presas de embalse.

291 Presas de tierra..... 334
292 Materiales y modo de construirlas..... 334
293 Presas de fábrica..... 335
294 Cálculo de la presa..... 337
295 Perfil empírico de las presas..... 340
295 bis Presas de hormigón armado..... 350

Obras accesorias de las presas y pantanos.

296 Obras de toma ó admisión..... 354
297 Tomas de agua del embalse..... 354
298 Aliviaderos ó desaguadores de fondo..... 355
299 Idem de superficie..... 356
300 Canal de descarga..... 357
301 Inconvenientes de los pantanos..... 357

Canales de conducción á los terrenos regables. Obras de arte.--Medición del agua para riegos.

302 Canales de riego..... 357
303 Derivación de los canales secundarios..... 358
304 Toma de agua en los canales terciarios..... 359
305 Tajeas.—Tajeas con pozo-sifones, puentes, etc..... 360
306 Sifones..... 365
306 bis Canal de Aragón y Cataluña..... 365
307 Saltos..... 383

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

308 Partidores 383
309 Módulos 384
310 Módulos de gasto constante 384
311 Módulo magistral 384
312 Diversas medidas del agua 386
313 Reparto del agua de riegos 388
314 Riegos por aspersión 389
315 Idem por infiltración 390
316 Idem por submersión ó manta 391
317 Idem por regueras 391
318 Reglas para los riegos 392

§ 4.— **Mejoramientos.**

319 Sistemas de mejoramiento de terrenos 393

A).—*Saneamientos ó desecaciones*

320 Canalización para desagüe natural y continuo 393
321 Trazado de la red de canales 394
322 Gasto de los canales 394
323 Pendiente y velocidad en las zanjas y canales 395
324 Secciones de las zanjas y canales 395
325 Dsagüe libre de los colectores 396
326 Canalización para desagüe natural intermitente 396
327 Esclusas de desagüe 397
328 Cálculo hidráulico de la esclusa 397
329 Gasto en las zanjas ó canales de desagüe intermitente 398
330 Desagüe intermitente 399
331 Canalización para desagüe artificial con elevación .. 399
332 Saneamiento de marismas 401
332 bis Desalamiento de terrenos 401
333 Encauzamientos y desviaciones de los ríos 402
334 Pozos absorbentes 402
335 Drenaje 402
336 Drenaje en terrenos horizontales ó casi horizontales. 403
337 Cálculo de los drenes absorbentes 403
338 Idem de los colectores 405
339 Drenaje en los terrenos muy inclinados 406
340 Idem en los terrenos con arbolado 406
341 Idem intermitente 406
342 Idem vertical 407
343 Constitución de los drenes y red de saneamiento 407

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

B).—*Entarquinamientos.*

344 Entarquinamientos..... 408
345 Altura que debe asignarse á las tierras que se entarquinan..... 409
346 Tarquines..... 409
347 Admisión de aguas turbias en los terrenos que se van á entarquinar y evacuación de las aguas claras... 410
348 Diques..... 410
349 Orden que debe seguirse en los entarquinamientos... 411
350 Desagüe de las aguas exteriores..... 411
351 Tiempo necesario para un entarquinamiento 411

Parte cuarta.

§ 1.—**Regularización de terrenos y de las aguas.**

352 Regularización agrícola de las tierras..... 413
353 Terrenos horizontales ó casi horizontales..... 413
354 á 357 Terrenos inclinados ó laderas..... 413
358 Banqueos..... 414
359 Regularización de montes..... 415

§ 2.—**Defensa contra las corrientes subterráneas y superficiales.**

360 Defensa contra las aguas subterráneas..... 418
361 Consolidación de terrenos..... 418
362 Desecaciones..... 418
363 Muros de sostenimiento 420
364 Pilotajes..... 421
365 Escolleras y pedreras..... 421
366 Banquetas..... 421
367 Plantaciones..... 422
368 Trayectoria de un terreno móvil..... 422
369 Defensa contra las aguas tranquilas ó estancadas... 422

Defensa contra las aguas corrientes exteriores.

370 División física de los cursos de agua..... 422
371 Escala de gastos..... 423
372 Definiciones relativas á la hidráulica fluvial..... 423
373 Perfil de compensación..... 424
374 Obras de defensa..... 427

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

A).—*Defensa de los tramos superiores.*

375 Cuenco de reunión 427
376 Presas 427
377 Traviesas 428
378 Aplicaciones 428
378 Corrección de terrenos y torrentes en España 428
379 Canal de desagüe 429
380 Defensas directas 429
381 Idem indirectas 437

B).—*Defensa de los tramos inferiores.*

382 Diques 439
383 Corrección de las confluencias y desembocaduras 441
384 Crecidas é inundaciones 441
385 Remanso debido á las crecidas 443
386 Medios para atenuar los efectos de las crecidas 444
387 Rotura de diques y su reparación 444
388 Reparación de las roturas 445

§ 3.- **Hidráulica marítima.**

389 Topografía del mar 449
390 Medidas marinas 449
391 Definiciones 450
392 Mareas 451
393 Olas 453
394 Rosa de los vientos 455
395 Corrientes marinas 457
396 Emersión de las playas 458

Puertos, playas y faros.

397 Puertos 458
398 Principales obras de los puertos 460
399 Rompeolas 460
400 Diques y muelles 460
401 Muelles de servicio 463
402 Antepuertos y radas 464
403 Careneros y varaderos 464
404 Diques secos de carena 464
405 Accesorios 465
406 Limpias 465
407 Playas 467

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

408 Dunas 467
409 Señales marítimas 467

§ 4.—**Navegación.**

A).—*Navegación marítima.*

410 Fuerza de propulsión de las naves 470
411 Resistencia al rozamiento 471
412 Perfil de la línea de flotación 472
413 Resistencia á las olas 473
414 Estabilidad de las naves 474
415 Prueba de estabilidad 475
416 Idem del casco 476
417 Arqueo 476
418 Buques de vela 478
419 Arboladura 478
420 Velas 479
421 Momentos de las velas 479
422 Determinación del centro vélico 479
423 Cuadro de momento de las velas 481
424 Aparejo de los buques de vela 481
425 Relación entre la fuerza y la velocidad de un buque. 482
426 Jarcia 482
427 Nudos 483
428 Cables metálicos 487
429' Soldaduras 488

B).—*Navegación interior.*

429 Navegación interior 489
430 á 435 Canales de navegación 489
436 Esclusas 491
437 Curvas 492
438 Caminos de sirga 492
439' Canales marítimos 493

Parte quinta.

§ 1.—**Utilización de la energía hidráulica.**

440 Fuerza de un salto de agua 495
441 Canales industriales 496
442 Casa de máquinas 496

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

§ 2.—**Máquinas hidráulicas.**

443 Ruedas hidráulicas 500
444 Rueda de costado, de paletas 500
445 Rueda superior de cajones 502
446 Ruedas sumergidas en una corriente 503
447 Turbinas de acción axial 504
448 Idem, íd., radiales 505
449 Idem tangenciales. Ruedas Pelton 506
450 Idem de reacción 507
451 Regulación 508
452 Detalles de construcción 509
453 Recepción de las turbinas 509
454 Otros tipos de motores hidráulicos 510
455 Prensas hidráulicas 510
456 Acumuladores hidráulicos 511
457 Ascensores ídem 512
458 Grúas hidráulicas 512

§ 3.—**Máquinas para elevar el agua.**

459 Clasificación 512

A).—*Máquinas de transporte.*

460 Cubo, achicadera, etc 513
461 Ruedas de cajones ó cangilones 513
462 Ruedas de paletas 513
463 Noria 514
464 Tímpano de Vitrubio 515
465 Espiral ó tornillo de Arquímedes 515

B).—*Máquinas de columna de agua.*

466 Fuente de Eron 516
467 Ariete hidráulico 516
468 Otras máquinas 516
469 Inyectores 517

C).—*Máquinas de aspiración y compresión directa.*

470 Bomba aspirante 517
471 Idem impelente 517
472 Idem de doble efecto 517
473 Idem circular 518
474 Idem Campoud 518
475 Cálculo de las bombas 518

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

476 Bomba Girard 519
477 Idem de incendios 519
478 Idem rotatoria ó rueda bomba 519
479 Idem centrifugas 520
480 Turbinas hidróforas 522

D).—*Máquinas especiales.*

481 Pulsómetros 522
482 Bomba helicoidal 524
483 Emulsores 524
484 Capilaridad 525

§ 4.—**Cimientos en presencia del agua.**

485 Ataguías 525
486 Excavación en terrenos cubiertos por las aguas 526
487 Cimientos en terrenos cubiertos por el agua 526
488 Cimientos y trabajos en el agua por medio del aire comprimido 526

Parte sexta.

§ 1.—**Datos prácticos y precios de materiales y de construcciones hidráulicas.**

489 Precios elementales 529
490 Análisis de precios 530
491 Transportes por el agua 531
492 Agotamientos para cimentaciones, etc 531
493 Obras accesorias 533
494 Revestimiento de pozos 536
495 Coste de las alcantarillas y cañerías 537
496 Idem de los aparatos 538
497 Precios de todo coste de algunas obras 538
498 Coste de los tubos de cemento 539
499 Idem de cañerías terminadas 539
500 Accesorios 540

§ 2.—**Valor del agua.**

501 á 506 Valor del agua 541
507 Precio del agua en algunas localidades 543
508 Agua para fuerza motriz 546

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Página.

509 Idem para usos industriales..... 546
510 y 511 Idem potables..... 546
512 Tarifas en Madrid..... 546
513 Aguas minerales..... 549
514 á 516 Casos especiales..... 549
517 Aguas residuales..... 550
518 Valor negativo..... 550

§ 3.—**Legislación de aguas.**

520 Legislación..... 551

APÉNDICE

Hidrografía de España.

Generalidades..... 553
Vertiente septentrional..... 554
Vertiente de los Pirineos orientales..... 564
Cuenca del Ebro..... 568
Región austro-oriental..... 577
Vertiente occidental..... 583
Región austro-oriental de Galicia..... 583
Cuenca del Duero..... 587
Idem del Tajo..... 599
Idem del Guadiana..... 607
Idem del Guadalquivir..... 616
Vertiente meridional..... 624
Cuadro de la hidrología de España..... 629

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

INDICE DE TABLAS

TABLA		Página.
I	Valores usuales en los cálculos.....	1
II	Potencias quintas y sus recíprocas de los números 1 á 100 y de $e = 2.718$.....	3
III	Logaritmos hiperbólicos de 1 á 50.....	5
IV	Líneas trigonométricas (graduación sexagesimal).....	10
IV bis	Idem, íd. (graduación centesimal).....	14
V	Datos meteorológicos de España.....	30
VI	Valores del coeficiente de salida μ para orificios de forma cuadrada en pared delgada.	53
VI bis	Idem, íd., íd., íd., íd. en ídem circular en ídem, íd. vertical.....	53
VII	Idem, íd., íd., íd. para orificios de forma rectangular, vertical en ídem, íd. (Poncelet y Lesbros).....	54
VIII	Gasto en los orificios de un metro de ancho con carga $\mu = 0{,}60$.....	56
IX	Valores del coeficiente μ para orificios sumergidos (Lesbros).....	57
X	Valores del coeficiente μ para orificios con carga rectangulares, con contracción incompleta.....	58
XI	Coeficientes de salida para orificios con carga en pared gruesa.....	60
XII	Idem, íd., íd., en ídem., íd. con aristas vivas ó redondeadas.....	61
XIII	Coeficiente μ_1 para orificios en vertedero libre (Turazza).....	63
XIV	Idem, íd., íd., íd.; contracción incompleta...	64
XV	Valores de $\frac{\varepsilon}{H}$ para las presas.....	65

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

TABLA		Página.
XVI	Coeficientes para vertederos libres de sección trapecial	67
XVII	Coeficiente μ para tubos adicionales cónicos convergentes	70
XVIII	Idem μ ídem, íd., íd. divergentes	70
XIX	Idem μ ídem, íd., íd. cilíndricos oblicuos	71
XX	Idem m ídem., íd., íd., con contracción incompleta	71
XXI	Coeficiente ψ para la fórmula de Humphreys Abbat	78
XXII	Idem α y β para la fórmula de Darcy y Bazin	81
XXIII	Idem γ para la ídem, íd.	81
XXIV	Cálculo del coeficiente $b = \frac{R_m i}{U}$	82
XXV	Coeficiente n por la fórmula de Ganguillet y Kutter	86
XXVI	Coeficiente m para las 12 categorías de la fórmula de ídem, íd	87
XXVII	Idem $\gamma = 100 \frac{\sqrt{R}}{m + \sqrt{m}}$	88
XXVIII	Idem $\gamma = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$	90
XXIX	Sección de los canales para diversos taludes.	93
	Gráficos de Viceppiani para el cálculo de los canales	97
XXX	Cálculo de las secciones de los canales de tierra	104
XXXI	Idem, íd., íd., íd. de fábrica	114
XXXII	Cálculo de las secciones de máximo gasto	125
XXXIII	Idem, íd., íd. de ídem velocidad	126
XXXIV	Sección ovoidal llena hasta la imposta de la bóveda	127
XXXV	Sección ovoidal completamente llena	129
XXXVI	Tabla para aplicar la fórmula de Prony	132
XXXVII	Valores de b y α para la fórmula de Darcy.	135
XXXVIII	Valores de γ/I para la fórmula de Flamant.	138
XXXIX	Valores de γ para la ídem, íd.	138

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

TABLA		Página.
XL	Tabla de velocidades límites en las cañerías para los golpes de ariete	142
XLI *a)*	Valores de $\psi(x)$ para el cálculo de remansos con elevación	156
XLII *b)*	Idem, íd., íd. para los íd. con depresión	157
XLIII	Valores de $\cos^{-1}\frac{h}{r}$ (cálculo de cañerías)	214
XLIV	Coeficiente de conductibilidad exterior para las superficies que están en contacto del aire	215
XLV	Coeficientes de conductibilidad interna	215
XLVI	Medios mensuales de temperatura del terreno á diversas profundidades	216
XLVII	Tubos de hierro fundido: unión con manguitos	241
XLVIII	Tubos de hierro con manguitos de rosca	279
XLIX	Idem de plomo	280
	Coeficientes de rozamiento de diversos materiales	336
	Elementos para determinar el perfil de una presa	339
XLIX'	Distancia entre los drenes	405
L	Relación entre los elementos de una red de drenes	405
LI	Muros de sostenimiento	420
	Retardos de marea	452
	Establecimiento de algunos puertos	453
	Rosa de los vientos	456
	Vientos: escala terrestre	456
	Idem: íd. marina	457
	Superficie y relaciones del velamen	479
	Momentos de las velas	481
	Coeficiente de rotura y carga de seguridad de los cables	483
	Bombas centrífugas	522
	Pulsómetros	523

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

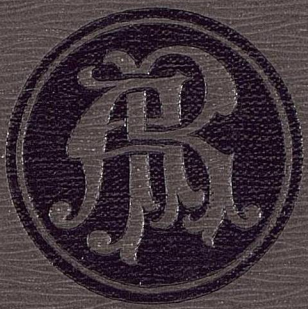
FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

A 1/1286

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO



L. CALLEJA, ENCDOR.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO